

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Montaje, Verificación, Caracterización y
Desarrollo de software de cámara anecoica para
medida de antenas en diferentes bandas
frecuenciales



Máster Universitario en
Ingeniería de Telecomunicación

Trabajo Fin de Máster

Autor: Mikel Goñi Esparza

Director: Jorge Teniente Vallinas

Pamplona, 29 de Junio de 2017



30

1987-2017

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Agradecimientos a...

*La empresa Anteral S.L. por la oportunidad ofrecida y por la colaboración prestada
durante el transcurso de este proyecto.*



Abstract

This project is focused on the study of the anechoic chamber of Public University of Navarra. For that purpose, different tasks such as assembly, characterization and verification have been done. Adequate mounting has been carried out in order to leave the anechoic chamber ready for antenna measurements at different frequency bands as well as some characterization process of the most relevant parameters, like dynamic range available, has been performed to provide the Camera with multiple use configurations for future measurements.

For optimal and fully automatic measurements, a specific spherical-field software will be designed using LabView and Matlab software tools, which are responsible for the positioning movements and data collection of the PNA E8361C network analyzer. This software includes important functionalities such as the measurement of different radiation pattern cuts, parameters selection in network analyzer from a central computer or Matlab data post-processing added to LabView. Furthermore, the existing software for planar near field measurements will be improved making it more functional. Both softwares will be verified through different measurements holding frequencies up to 60 GHz.



Resumen

Este proyecto abarca el estudio de la cámara anecoica de la Universidad Pública de Navarra, donde se realizarán cometidos como el montaje, caracterización y verificación de la misma. Se llevará a cabo el montaje adecuado dejando la cámara anecoica preparada para la medida de antenas en diferentes bandas frecuenciales y, mediante una caracterización de los parámetros más relevantes, como nivel de ruido o margen dinámico disponible, se dispondrá de todas las configuraciones de uso de la cámara para futuras medidas.

Para la realización de medidas óptimas y totalmente automáticas se va a diseñar un software específico para campo lejano esférico, mediante las herramientas software LabView y Matlab, encargado del movimiento de los posicionadores y de la recogida de datos del analizador de redes PNA E8361C. Este software contempla funcionalidades importantes como la medida de diferentes cortes de un diagrama de radiación, selección de parámetros del analizador de redes desde un ordenador central o la incorporación del post-procesado de datos con Matlab. Además, se mejorará el software existente para medidas en campo cercano plano haciéndolo más funcional. Ambos softwares serán verificados a través de diferentes medidas albergando frecuencias hasta los 60 GHz.



Key words

- Anechoic chamber
- Far field
- Radiation pattern
- Planar near field
- Positioner
- Software LabView

Palabras clave

- Cámara anecoica
- Campo lejano
- Diagrama de radiación
- Campo cercano plano
- Sistema de posicionamiento
- Software LabView



Índice

Abstract.....	i
Resumen	ii
Key words.....	iii
Palabras clave.....	iii
1. Introducción.....	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos	1
2. Far field	3
2.1 Contexto tecnológico	3
2.2 Sistemas de medida en campo lejano	4
3. Descripción y montaje	9
3.1 Introducción y descripción.....	9
3.2 Evolución de montaje.....	11
3.3 Sistema de iluminación	17
3.4 Componentes necesarios.....	19
3.5 Inventario de cámara anecoica UPNA	21
4. Caracterización	22
4.1 Atenuación cables.....	22
4.2 Nivel de ruido – Margen dinámico	24



4.3	Configuraciones de uso	26
5.	Desarrollo de software	28
5.1	Introducción	28
5.2	LabView	28
5.3	Conexiones con componentes externos	30
5.3.1	Conexión con analizador de redes PNA E8361c.....	30
5.3.2	Conexión con motores Bazus	30
5.4	Funcionalidades.....	34
5.4.1	Inicio de Aplicación	34
5.4.2	Entorno de medida.....	35
5.4.3	Parámetros del analizador.....	36
5.4.4	Movimiento de ejes	37
5.4.5	Gráficas.....	38
5.4.6	FFRP-CUT.....	40
5.4.7	Medida estándar.....	40
5.5	Procesado de datos Matlab.....	42
6.	Verificación: Medidas FF.....	45
6.1	Introducción	45
6.2	Proceso de medida far field.....	45
6.3	Evolución de medidas	46
6.4	Medidas realizadas	51
6.4.1	Feed chain ANT	51



6.4.2	Feed chain GEO 2.....	52
7.	Conclusiones y líneas futuras.....	54
7.1	Conclusiones.....	54
7.2	Líneas futuras.....	55
	Bibliografía.....	57
	Anexos.....	58
	Anexo 1. Dimensiones cámara anecoica	59
	Anexo 2. Cámara anecoica originial	61
	Anexo 3. Cámara anecoica evolucionada	62
	Anexo 4. Absorbente WAVASORB	66
	Anexo 5. Inventario cámara anecoica.....	70



Índice de figuras

Figura 1. Regiones de radiación de una antena	4
Figura 2. Elevated range.....	6
Figura 3. comparación entre rectangular chamber y tapered chamber.....	7
Figura 4. Compact range	7
Figura 5. Plano cámara anecoica UPNA.....	10
Figura 6. Estado inicial de la cámara anecoica.....	11
Figura 7. Dimensiones de vista superior de CA con material absorbente.....	12
Figura 8. Dimensiones de paredes 1, 2 y 3 cubiertas de material absorbente	13
Figura 9. Dimensiones de paredes 4, 5 y 6 cubiertas con material absorbente.....	14
Figura 10. Torres transmisora y receptora con material absorbente.....	15
Figura 11. Sujeción de antenas en torre receptora	15
Figura 12. Protección para los motores de anclaje de antenas	16
Figura 13. Cámara anecoica mejorada y evolucionada	17
Figura 14. Instalación de iluminación en cámara anecoica.....	18
Figura 15. Posicionador campo lejano.....	19
Figura 16. Analizador de redes PNA E8361c	20
Figura 17. Atenuación (dB/metro) en cables SMA para cada frecuencia	23
Figura 18. Atenuación (dB/metro) en cables 3.5mm para cada frecuencia	23
Figura 19. Atenuación (dB/metro) en cables 1.85mm para cada frecuencia	24
Figura 20. Aplicación Dyfe-Positioner	31
Figura 21. Items de movimiento y velocidad dentro de la Aplicación	32
Figura 22. Ejemplo sobre llamada completa para cambiar posición de destino.....	32
Figura 23. Paso 1 - Abrir conversación DDE con el servidor.....	33
Figura 24. Paso 2 - Poner en modo lectura la Aplicación de Bazus	33
Figura 25. Paso 3 - Establecimiento del dato destino de movimiento.....	33
Figura 26. Paso 4 - ejecutar orden de movimiento	34
Figura 27. Pestaña "Inicio de aplicación" en LabView.	34



Figura 28. Pestaña "Entorno de medida" en LabView	36
Figura 29. Establecer parámetros en el analizador de redes desde LabView	37
Figura 30. Movimiento de ejes independiente desde LabView	38
Figura 31. Representación de magnitud y fase para un corte desde LabView	39
Figura 32. Ejemplo para la representación de gráficas en magnitud y fase	39
Figura 33. Medida de un corte del diagrama de radiación	40
Figura 34. Pestaña "Medida estándar" en LabView	41
Figura 35. Forma de programa código de Matlab dentro de LabView	43
Figura 36. Cortes del diagrama de radiación de una antena	46
Figura 37. Diagrama de radiación antiguo a 13 GHz.....	47
Figura 38. Diagrama de radiación antiguo a 14 GHz	48
Figura 39. Diagrama de radiación antiguo a 14.8 GHz	48
Figura 40. Set-up de medida para el Feed Chain GEO.....	49
Figura 41. Diagrama de radiación nuevo a 12.95 GHz	50
Figura 42. Diagrama de radiación nuevo a 13.90 GHz.....	50
Figura 43. Diagrama de radiación nuevo a 14.85 GHz.....	51
Figura 44. Diagrama de radiación para Feed Chain ANT a 13.90 GHz	52
Figura 45. Diagrama de radiación para antena bocina a 13.90 GHz	53
Figura 46. Dimensiones de las paredes 1, 2 y 3 de la CA	59
Figura 47. Dimensiones de las paredes 4, 5 y 6 de la CA.....	59
Figura 48. Dimensiones de las torres de medida	60
Figura 49. Estado de la cámara anecoica original.....	61
Figura 50. Estado de la cámara anecoica actual.....	62
Figura 51. Estado de la cámara anecoica actual 2	63
Figura 52. Estado de la cámara anecoica actual 3	63
Figura 53. Estado de la cámara anecoica actual 4	64
Figura 54. Estado de la cámara anecoica actual 5	65
Figura 55. Absorbente WAVASORB VHP.....	66
Figura 56. Absorbente WAVASORB VHP -características	67



Figura 57. Absorbente WAVASORB FS.....	68
Figura 58. Absorbente WAVASORB FS - características	69
Figura 59. Inventario cámara anecoica UPNA.....	70
Figura 60. Inventario cámara anecoica UPNA 2.....	71



Índice de tablas

Tabla 1. Nivel de ruido en analizador de redes según filtro IF y frecuencia 25

Tabla 2. Configuraciones de uso en la cámara anecoica de la UPNA 26



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

La principal razón por la que se ha decidido realizar este proyecto ha sido la actual necesidad que presentaba tanto la empresa Anteral S.L como la Universidad Pública de Navarra de evolucionar los sistemas de posicionamiento de antenas de campo lejano y campo cercano existentes en la cámara anecoica de la misma universidad. Se ha considerado buena oportunidad estudiar el estado actual de la cámara anecoica, mejorándola tanto a nivel estructural como a nivel de caracterización y software, para hacer posible la realización de medidas de componentes de radiofrecuencia. En dichos componentes se basa gran parte de la acción de las entidades ya mencionadas.

1.2 Objetivos

El objetivo de este proyecto es desarrollar y evolucionar la cámara anecoica de la Universidad pública de Navarra, tanto realizando el montaje adecuado de la misma como preparando los sistemas de posicionamiento de medida de antenas de los que dispone. El objetivo principal consiste en automatizar los sistemas de posicionamiento para que sean



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

capaces de realizar medida de antenas tanto en campo lejano esférico como en campo cercano plano.

Disponer de un programa software de medida que permita realizar medidas en el menor tiempo posible es una de las metas de este proyecto, debido a su gran utilización. Para ello, se va a realizar un programa (mediante LabView) que permita llevar a cabo diferentes cortes del diagrama de radiación de una antena a diferentes ángulos, así como otras funciones, siendo totalmente automático. Primero será necesario acabar el montaje de la cámara anecoica adecuadamente.

Una vez el software está definido, el objetivo es caracterizar la cámara anecoica para conocer diferentes parámetros, como niveles de ruido obtenidos en el analizador de redes o atenuación de los cables utilizados en las medidas, parámetros muy relevantes a la hora de hacer medidas.

Se llevarán a cabo diferentes medidas para verificar tanto el software de control como el montaje de la cámara anecoica.

Como último objetivo se mejorará el sistema de campo cercano plano disponible también la cámara anecoica, montando la estructura necesaria y actualizando el software para hacerlo más funcional. Además, se comentarán conclusiones halladas sobre la realización de medidas en campo plano cercano.



2. FAR FIELD

2.1 Contexto tecnológico

Hoy en día existen diferentes sistemas de posicionamiento de antenas con los que realizar medidas de diagramas de radiación. Principalmente, se puede dividir en dos grandes grupos: sistemas de campos cercano (Near field) y sistemas de campo lejano (Far field). Las medidas de diagrama de radiación, así como la caracterización de antenas, necesitan de unos sistemas de posicionamiento y medida optimizados de forma que los resultados obtenidos sean de gran exactitud.

Las cámaras anecoicas, entorno principal donde se abarca este proyecto, son los lugares ideales para medir antenas en campo lejano a bajas-medias frecuencias, aproximadamente hasta 60 GHz en el caso de la UPNA, donde los tamaños de antenas aun permiten trabajar con este sistema. Una de las ventajas de los sistemas de campo lejano frente a los de campo cercano es la menor duración de las medidas.

Sin embargo, trabajando en alta frecuencia los métodos más baratos y más precisos son los sistemas de campo cercano, principalmente porque los tamaños de set-up disminuyen considerablemente, siendo esta una ventaja clara frente a los sistemas de campo lejano. Además, en el caso que embarca este proyecto, sistemas campo cercano plano, la



complejidad de posicionamiento de medida se reduce puesto que los puntos de medida son una matriz de posiciones sobre un plano. La precisión que se obtiene en estas medidas es muy similar a la que se consigue en Far Field, utilizando además un ambiente controlado debido a que no dependen de las condiciones del tiempo y no afectan mucho las interferencias electromagnéticas. Por otro lado, existen fuentes de error como son los truncamientos, desalineamientos, etc.

Una desventaja de una medida en campo cercano es el tiempo de duración de la misma, ya que teóricamente se debe discretizar con al menos densidad $\lambda/2$ el campo cercano para posteriormente hacer la transformación a campo lejano y extraer los campos radiados. Esto no es del todo cierto, por ello se comentarán las conclusiones halladas en el proyecto.

2.2 Sistemas de medida en campo lejano

Para realizar una medida del diagrama de radiación de una antena es necesario conocer a que distancia se encuentra la radiación en campo lejano. En la Figura 1 aparecen representadas las regiones de radiación de una antena [1].

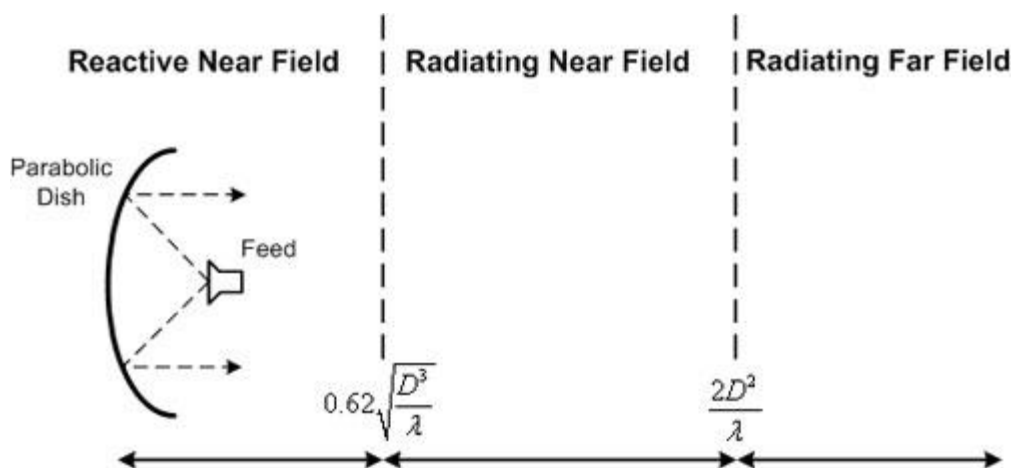


Figura 1. Regiones de radiación de una antena

La primera zona se denomina zona reactiva de campo cercano, donde la medida no suele ser realizable debido a que todo objeto que interfiera en esta zona afecta al funcionamiento de la antena modificando su comportamiento. Sin embargo, hay ciertas medidas en campo



plano cercano que pueden ofrecer resultados rápidos, o al menos, dar una idea sobre el posible resultado a obtener. La segunda zona se trata de la zona de campo cercano (Región de Fresnel), donde la energía media es constante y se pueden realizar medidas de diagrama de radiación con resultados óptimos. La tercera y última zona corresponde al campo lejano, principal objetivo de este proyecto. La distribución de energía no cambia conforme la distancia y la onda señal está totalmente formada. Esta zona es limitante cuando las dimensiones de las antenas son bastante grandes según la frecuencia de medida [2].

En los sistemas de campo lejano se pueden diferenciar dos grandes grupos: outdoor range e indoor range. En el primero de ellos se podrían medir aquellas antenas que son demasiado grandes como para medirlas en un espacio cerrado (indoor). Existen distintos tipos de sistemas en outdoor range, como son, elevated range, slant, free space o Ground reflection [2][3][4].

- Ground reflection: se basa en crear una interferencia constructiva en base a ciertas reflexiones especuladas que se unen con el haz directo en la región de la antena bajo test. Para conseguir un taper simétrico es necesario adecuar la altura de la antena source frente a una altura fija en la antena de test.
- Elevated range: las antenas tanto de test como fuente están situadas en torres separadas (entre diferentes edificios, entre montañas, etc...). Estos montajes se suelen utilizar en áreas llanas, pero también se utilizan en superficies irregulares. Principalmente se utiliza para medida de antenas de grandes dimensiones o de muy baja frecuencia (<100 MHz).

Existen efectos en los alrededores que tienen que ser suprimidos de diferentes formas, entre ellas, despejando la línea de visión directa, usando técnicas de procesado de señal, haciendo una elección óptima de la antena fuente en cuanto a directividad y nivel de lóbulos secundarios se refiere, ocultar obstáculos en el camino, etc... En la Figura 2 se puede observar un diseño de medida de este tipo.

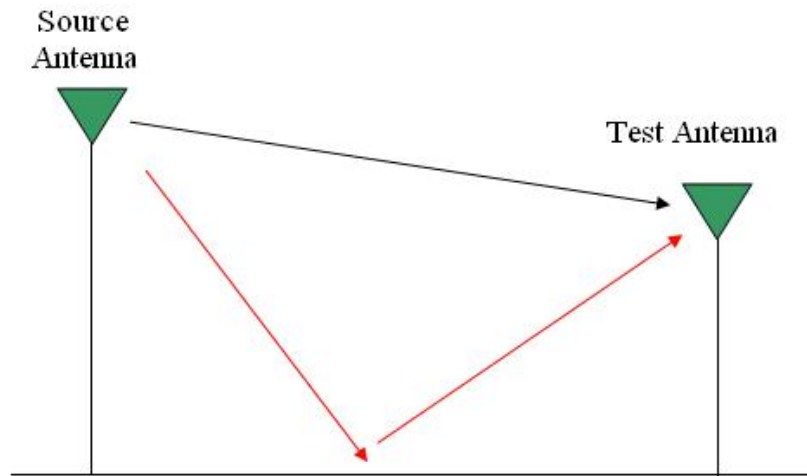


Figura 2. Elevated range

Por otro lado, están los sistemas en campo lejano indoor range. la clasificación para este grupo es la siguiente.

- Tapered chamber: su característica principal es que la cámara forma parte de la apertura de radiación de la antenna, adoptando una forma de bocina piramidal. Una de sus ventajas es que trabaja bien para frecuencias muy bajas, a diferencia del caso de rectangular chamber. Cuando se miden frecuencias muy bajas se puede situar la antenna source cerca del vértice de la “pirámide” creada, con las reflexiones produciéndose cerca de la antenna source, ya que el desfase de estas con el rayo directo será bastante pequeño. Sin embargo, a medida que sube la frecuencia, no es posible situar la antenna source tan cerca del vértice de la pirámide. Para ello, se utiliza una antenna de mayor ganancia eliminando así gran parte del efecto de las reflexiones.
- Rectangular chamber: en esta configuración se trata de simular condiciones de espacio libre (free-space). Se usará material absorbente en aquellas superficies que puedan reflejar las ondas, para así reducir las reflexiones indeseadas que se puedan producir. Aun estando todas las zonas (paredes, techo y suelo) cubiertas con absorbente, casi siempre existen algunas reflexiones debido al ángulo de incidencia de las ondas con el mismo. Este ángulo es bastante crítico.

La comparación entre los dos métodos anteriormente explicados se puede observar en la Figura 3.

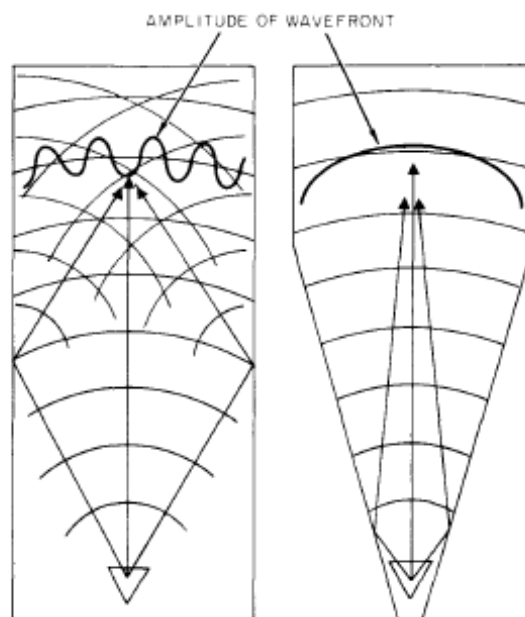


Figura 3. comparación entre rectangular chamber y tapered chamber

- Compact range: en esta configuración la antena de test es iluminada por un reflector (ver Figura 4). La antena fuente transmite ondas esféricas y, para trabajar en campo lejano, se necesita suficiente distancia para obtener una onda plana. Por ello, utilizando un reflector que transforma esas ondas esféricas en planas se consigue el objetivo en un rango de distancia menor (menor distancia far-field).

Las dimensiones de este reflector tienen que ser de al menos 3 veces superior a las dimensiones de antena de test para conseguir esa onda plana.

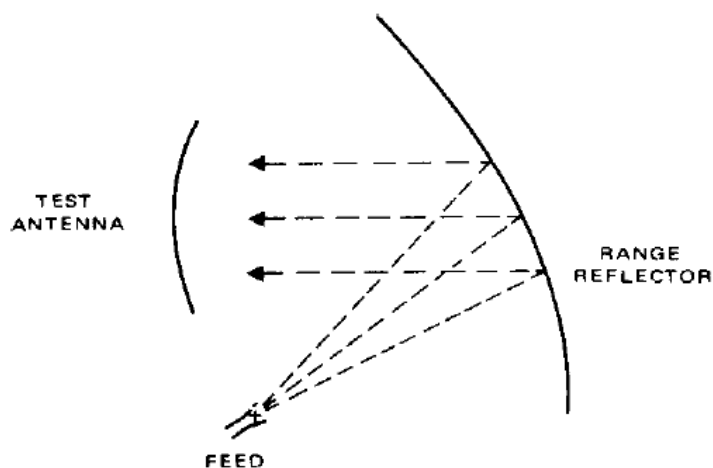


Figura 4. Compact range



CAPÍTULO 2. FAR FIELD

- Intermediate field range: se reduce la distancia en far-field utilizando feeds con menos directividad.

Este proyecto completo engloba también los sistemas de medida en campo cercano, que serán explicados en el *complemento al trabajo fin de máster*.



3. DESCRIPCIÓN Y MONTAJE

3.1 Introducción y descripción

En este capítulo se va a realizar una breve descripción sobre la cámara anecoica existente en la UPNA, así como cada uno de los pasos seguidos para llevar a cabo un montaje adecuado y lo más optimizado posible en la misma.

La cámara anecoica de la Universidad Pública de Navarra alberga la medida de antenas en frecuencias desde 5 hasta 60 GHz. Se compone de dos partes diferenciadas, la primera de ellas es la zona donde se realizan las medidas en campo lejano esférico, y la segunda, la zona donde se realizan las medidas de campo plano cercano, tal y como se puede observar en la Figura 5. Se ha hecho un control dimensional de toda la cámara anecoica para conocer sus dimensiones exactas de suelo, techo y de todas las paredes (ver Anexo 1). En la misma Figura 5 aparecen las dimensiones principales de la cámara anecoica, correspondiente a una vista superior.

En el Anexo 1 se encuentran el resto de planos para los que se han medido las dimensiones de todas las vistas de la cámara anecoica.

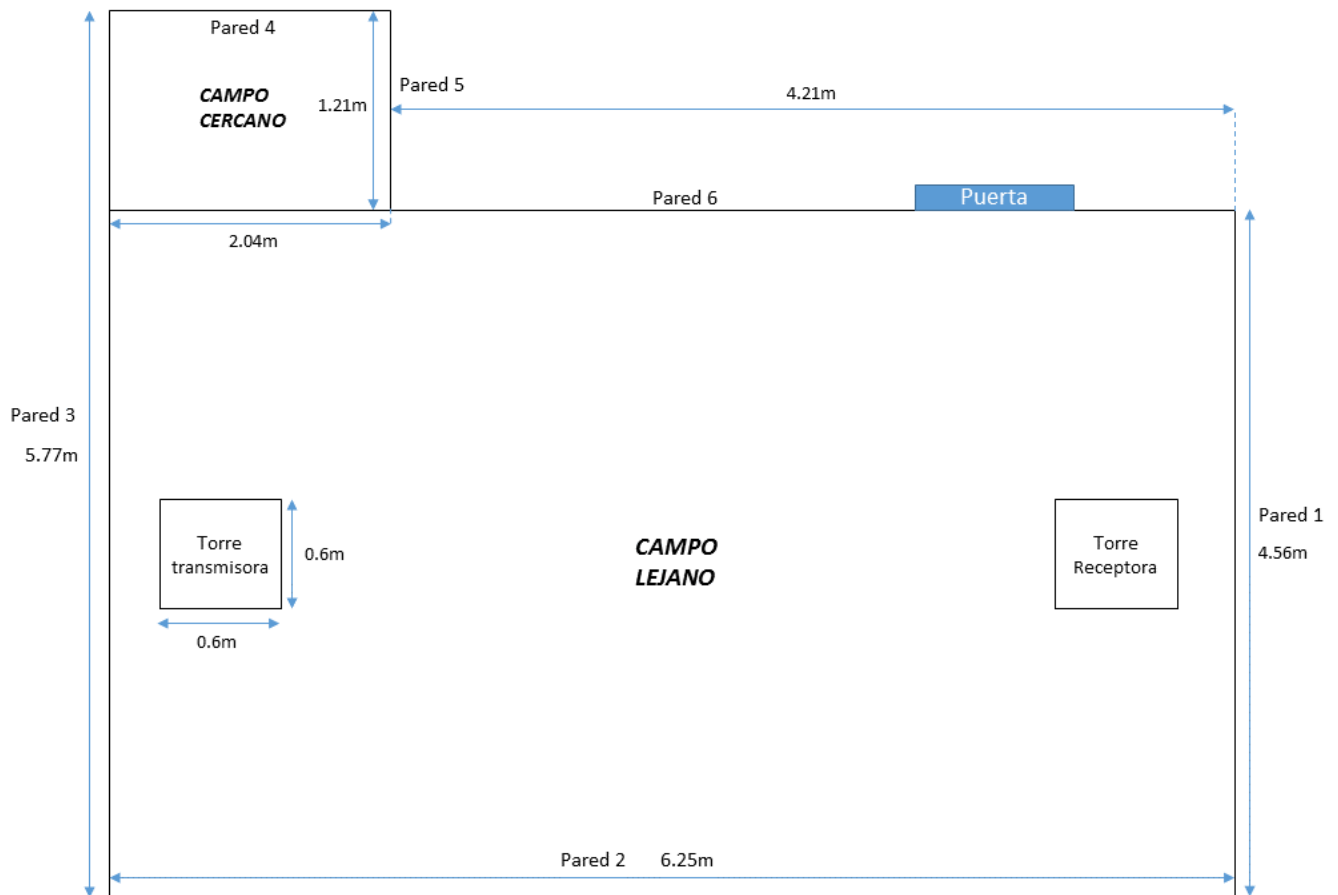


Figura 5. Plano cámara anecoica UPNA

En los inicios de este proyecto, la cámara anecoica no estaba cubierta en gran parte por absorbente, y por ello, con estas medidas se intenta facilitar el trabajo de montaje instalando el absorbente de la manera más exacta posible. En la Figura 6 se puede apreciar el estado de la cámara antes de la realización de este proyecto (más imágenes - ver Anexo 2).



Figura 6. Estado inicial de la cámara anecoica

3.2 Evolución de montaje

En este apartado se van a mostrar las actualizaciones realizadas a la cámara anecoica de la UPNA. El absorbente utilizado en el montaje corresponde al fabricante Emerson & Cuming. Las características y los tipos de absorbente aparecen en el Anexo 4. Hay 5 tipos de absorbentes utilizados [5]:

- WAVASORB-VHP-12-NRL (Atenuación > 45 dB para 3GHz)
- WAVASORB-VHP-18-NRL (Atenuación > 50 dB para 3GHz)
- WAVASORB-VHP-8-NRL (Atenuación > 40 dB para 3GHz)
- WAVASORB-VHP-4-NRL (Atenuación > 30 dB para 3GHz)
- WAVASORB-FS-100-NRL (Absorbente plano)

CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN Y MONTAJE

Los planos antes mencionados han sido modificados con cada una de las partes cubiertas con absorbente. En la Figura 7 se puede observar que ha sido añadido absorbente casi en su totalidad en el suelo de la cámara, necesario para que las ondas no reflejen en el suelo y se cree rizado en las medidas.

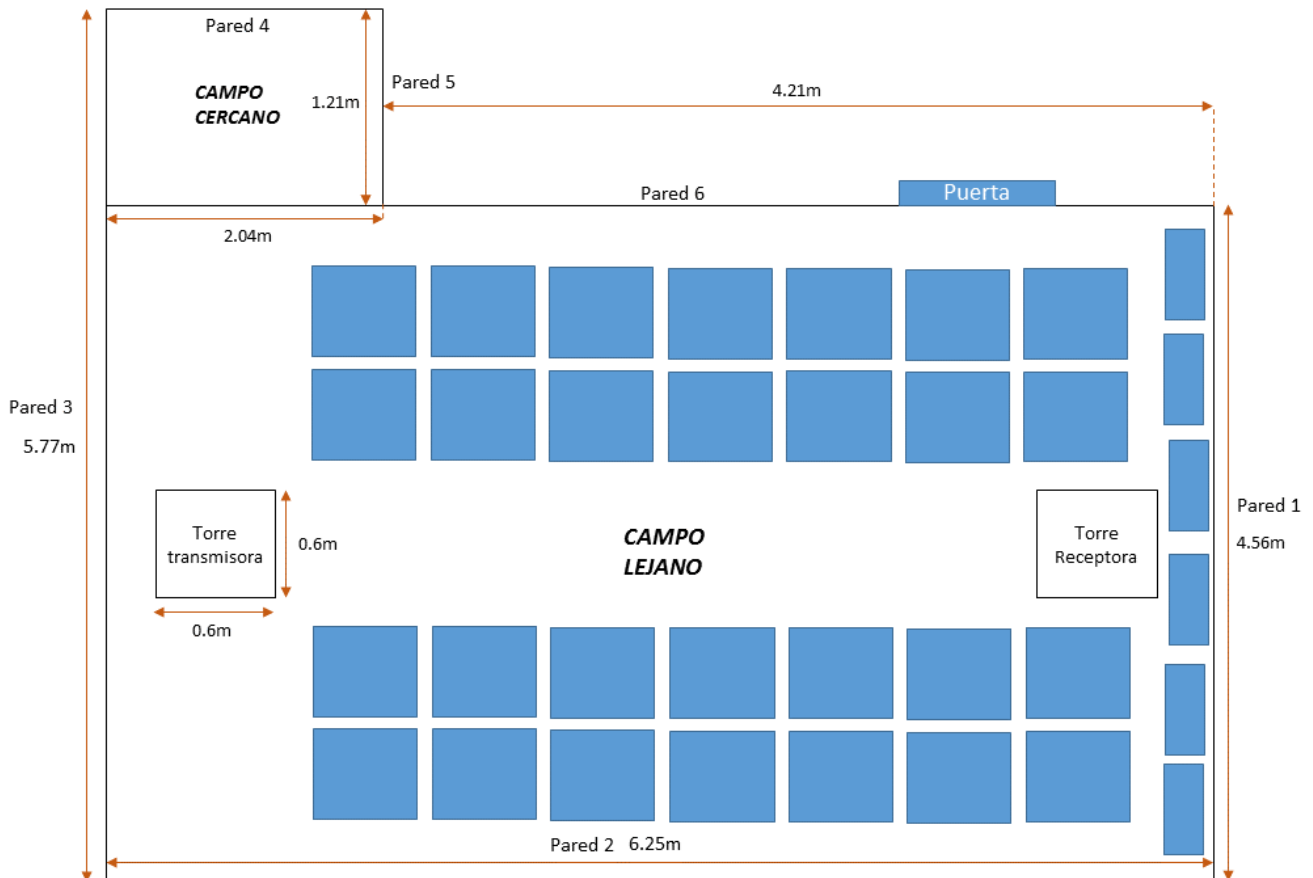


Figura 7. Dimensiones de vista superior de CA con material absorbente

Las paredes 1, 2 y 3 se han cubierto con absorbente en todas sus esquinas (VHP-12-NRL y FS-100-NRL). Además, se ha colocado absorbente en la parte superior de las mismas incluyendo parte del techo, juntando así el material montado en el techo con el de las paredes (FS-100-NRL), de forma que no queden huecos libres (ver Figura 8). En el techo se han reorganizado algunos absorbentes y se han montado otros nuevos que todavía no estaban instalados. En la pared 1, donde se sitúa la torre receptora, se han cambiado también los absorbentes que estaban instalados (VHP-12-NRL) en la primera fila por absorbentes de mejores prestaciones (VHP-18-NRL). Este cambio ha sido necesario para que toda la pared

receptora esté compuesta del material más óptimo a la hora de realizar cualquier medida, al ser la pared que recibe las ondas es necesario que el material absorbente tenga mejores propiedades que si estuviese instalado en otra zona.

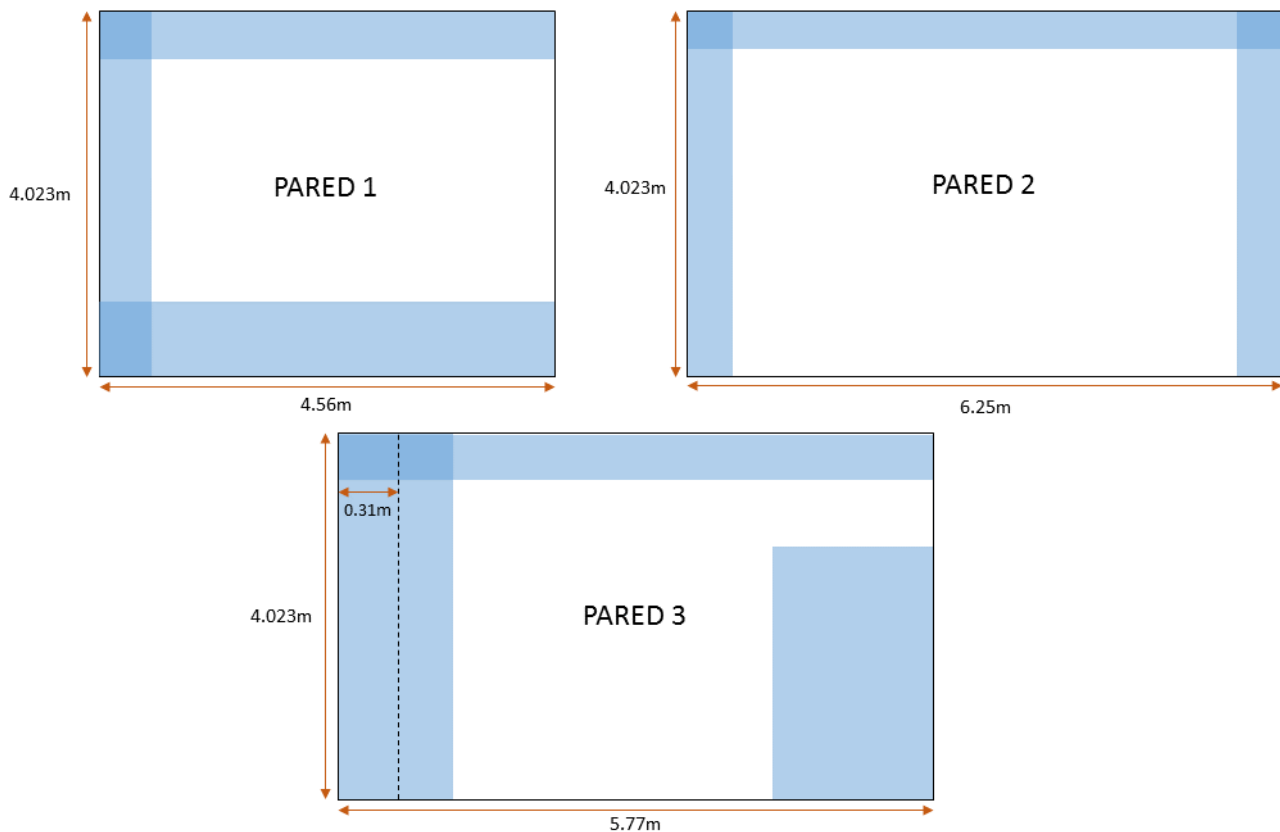


Figura 8. Dimensiones de paredes 1, 2 y 3 cubiertas de material absorbente

Las paredes 4 y 5, mostradas en la Figura 9, son las paredes correspondientes al sistema de campo cercano*. En ellas se ha reorganizado todo el absorbente (VHP-8-NRL) y se ha montado absorbente nuevo, en este caso del tipo VHP-4-NRL (también para la pared 3). No se han cubierto las dos paredes completas, sino únicamente, como aparece en la Figura 9, hasta cierta altura que permita que la zona crítica esté totalmente cubierta.

La pared 6, también mostrada en esa figura, es una de las zonas que más cambios ha experimentado. A parte de cubrir las esquinas y la zona del techo, ha sido necesario montar absorbente tanto en la puerta completa como en sus alrededores (VHP-12-NRL), todo en relación a las medidas dimensionales ya calculadas, para dejarlo lo más óptimo posible.

* El montaje correspondiente a las paredes 4 y 5 será explicado en mayor profundidad en el complemento al TFM.

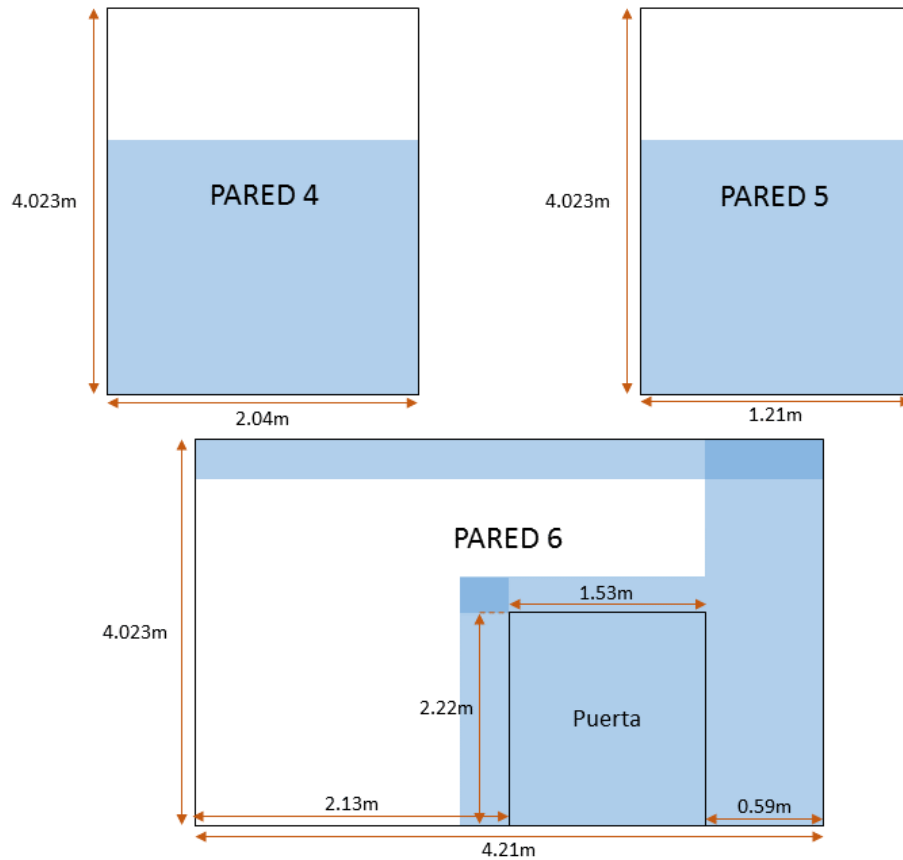


Figura 9. Dimensiones de paredes 4, 5 y 6 cubiertas con material absorbente

Una parte importante de este montaje pasa por cubrir cada elemento en el interior de la cámara anecoica. Por ello, es necesario colocar absorbente en las torres tanto de transmisión como de recepción, siendo más crítica esta última. Esto se lleva a cabo con absorbente del tipo VHP-4-NRL. Como aparece en la Figura 10, en la torre transmisora solo se cubre con absorbente la parte frontal, ya que no es crítico tener todo perfectamente cubierto. Sin embargo, en la torre de recepción hay que cubrir las 4 caras por igual. Esta torre se mueve de izquierda a derecha, y por ello, las ondas que se reciben inciden en todas las caras de la estructura metálica. Si no estuviese completamente cubierta las ondas se reflejarían creando una interferencia destructiva.

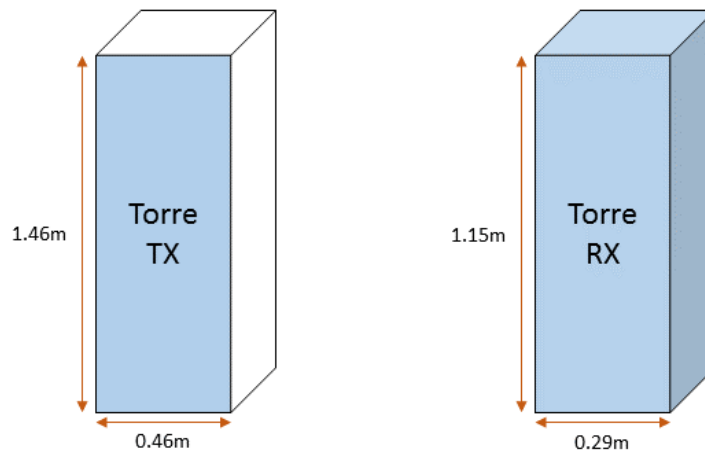


Figura 10. Torres transmisora y receptora con material absorbente

Una zona que afecta considerablemente en las medidas es la propia estructura (motores) donde se sujetan las antenas en la torre receptora. Las ondas inciden directamente en ella, por lo que si no está cubierta de material absorbente se hace notable el rizado en los resultados de medida (explicado en apartado 6). En la Figura 11 se puede observar la estructura mencionada, y en la Figura 12 se puede ver el diseño realizado para que las ondas no reflejen en la parte metálica de los motores.

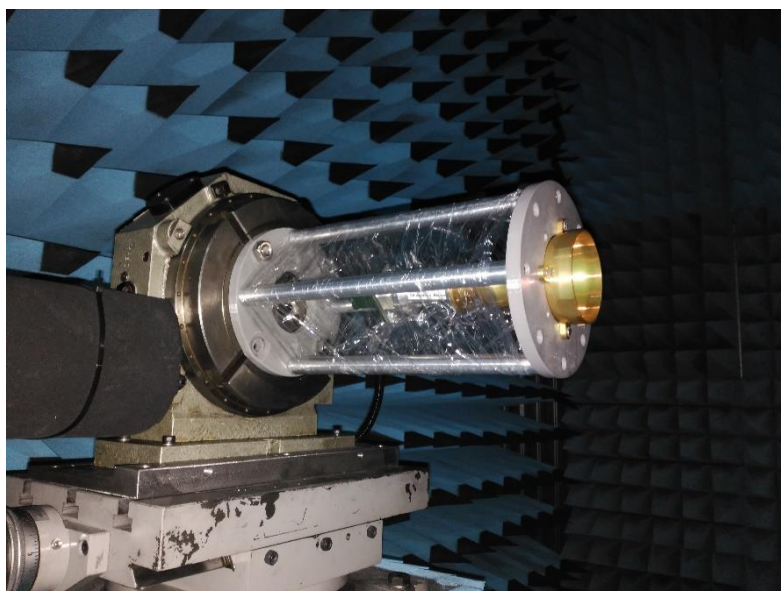


Figura 11. Sujeción de antenas en torre receptora

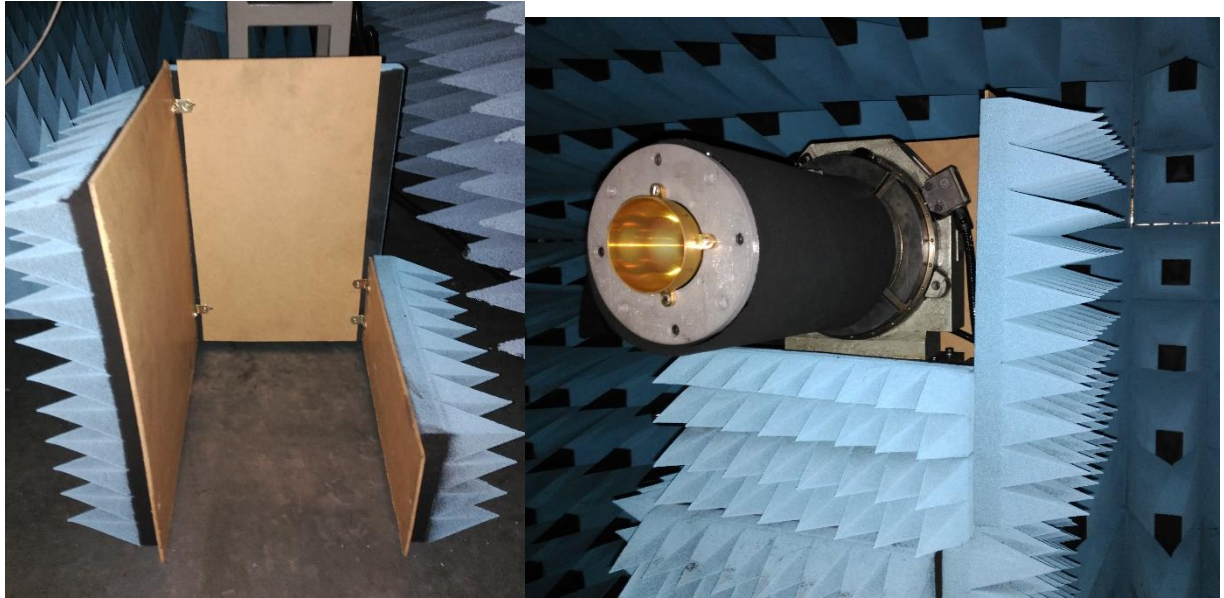


Figura 12. Protección para los motores de anclaje de antenas

Con todos estos cambios, la cámara anecoica queda preparada para la medida de antenas en diferentes bandas frecuenciales, desde los 5 GHz hasta los 60 GHz. El estado actual de la misma se puede ver en la Figura 13. El resto de imágenes de esta transformación se pueden ver en el Anexo 3.

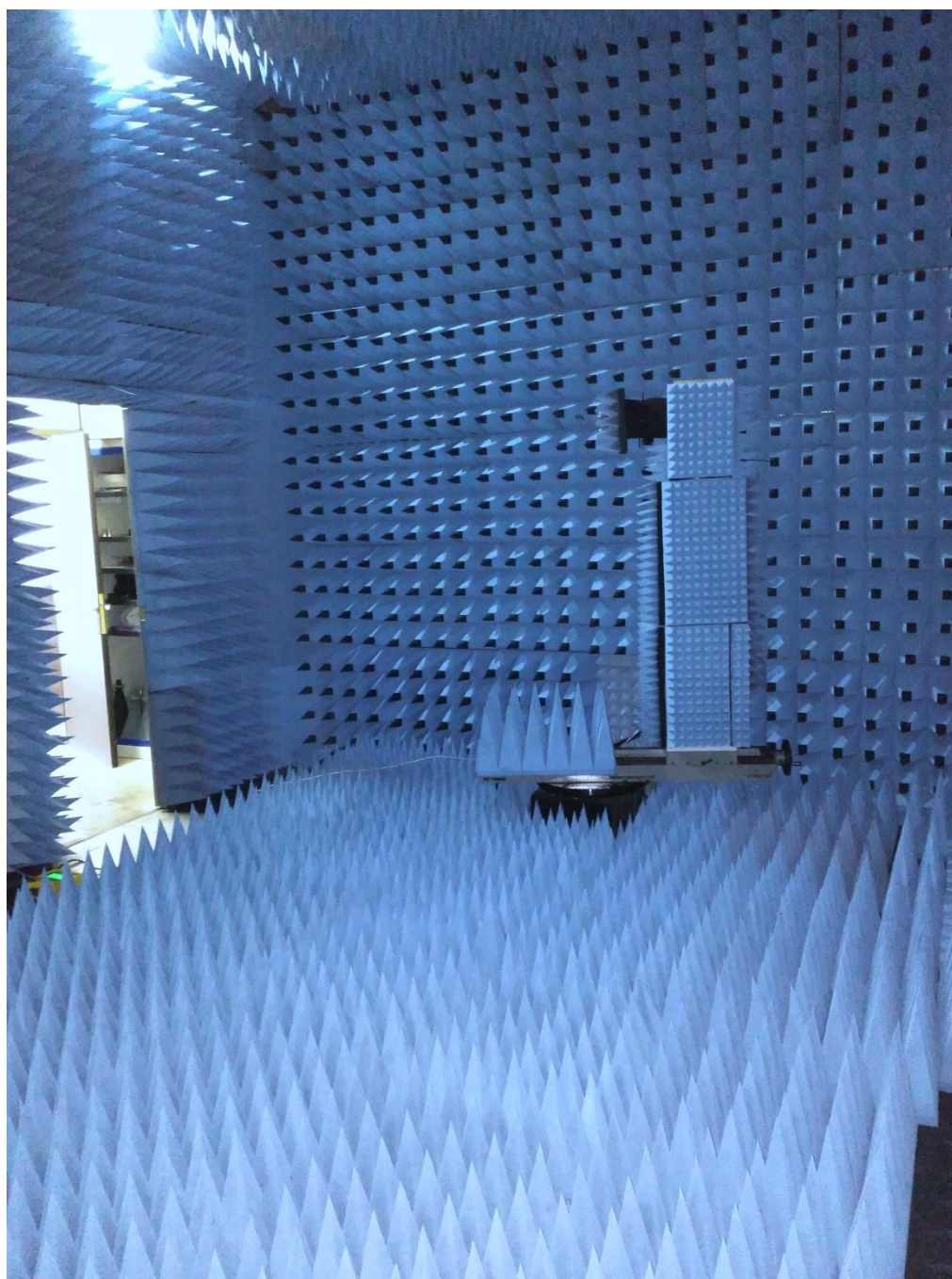


Figura 13. Cámara anecoica mejorada y evolucionada

3.3 Sistema de iluminación

La cámara anecoica original no tenía un sistema de iluminación en su interior, y por este motivo se utilizaba un foco de luz halógena de alta potencia no adecuado para estos entornos. Esto foco es portátil y se coloca en el lugar a ser iluminado en el interior de la cámara según

CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN Y MONTAJE

su necesidad, por tanto, no existía una iluminación completa en todo el espacio. Siempre teniendo cuidado en no situarlo cerca de los absorbentes.

El material absorbente, al estar muy cerca de un foco que desprenda mucho calor, es capaz de absorber la energía y calentarse lentamente hasta llegar a temperaturas muy altas, poniendo en peligro la estructura o edificio donde estén situados.

Por este motivo, es muy importante que la iluminación dentro de una cámara anecoica esté totalmente controlada. Se han instalado como reemplazo dos focos led de baja potencia (10W) y una bombilla led (5W). Los dos focos led iluminarán la zona de campo lejano, mientras que la bombilla servirá para iluminar la zona correspondiente al campo plano. Se han instalado dos interruptores diferentes de forma que se puedan encender las luces necesarias en cada momento. Por un lado, se pueden encender los focos para iluminar el campo lejano, y por otro, la bombilla para dar luz en el campo cercano, o ambos a la vez. Todo ello se puede ver en la Figura 14.

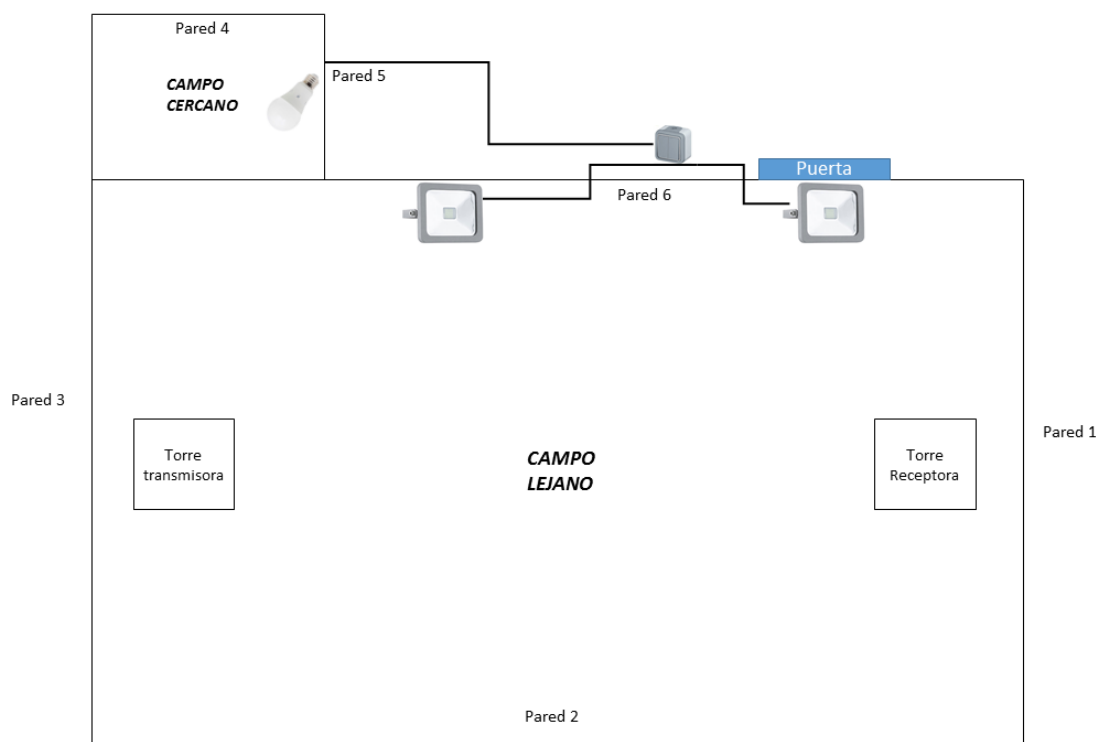


Figura 14. Instalación de iluminación en cámara anecoica

3.4 Componentes necesarios

La instrumentación requerida para poder realizar medidas de forma adecuada en la cámara anecoica es la siguiente [3].

- Sistema de posicionamiento y motores Bazus: Se trata una estructura metálica compuesta por dos torres, una transmisora y otra receptora, donde se sitúan las antenas de medida. En estas torres están colocados los motores, encargados de mover el posicionador (ver Figura 15). Estos son diferentes en cada una de las torres ya que cada uno ejecuta un movimiento diferente.

En la torre receptora existen dos motores. El primero y más importante, es el que permite mover toda la estructura de izquierda a derecha, es decir, sirve para medir una línea en ángulos de Theta (Azimuth), y el segundo es un roll para girar la antena y medir diferentes ángulos en phi. En la torre transmisora existe otro motor de roll, al igual que antes para mover en phi la antena y medir copolar y cross-polar a diferentes ángulos.

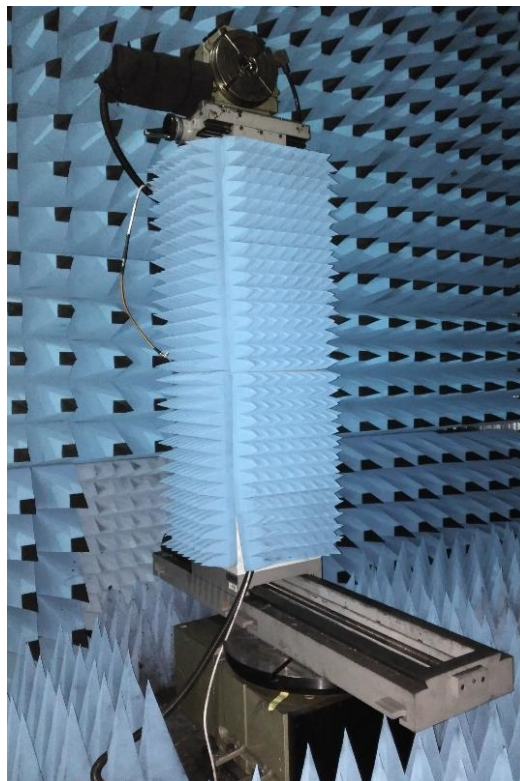


Figura 15. Posicionador campo lejano

Para mover los motores, y con ello la estructura, existen dos opciones diferentes. La primera de ellas sería moverlos a través de un mando manual que poseen los motores, mientras que la segunda opción consistiría en lanzar órdenes de movimiento desde un ordenador. Por ello, y debido a la necesidad de la automatización del sistema, se va a utilizar una aplicación que permita realizar esta acción desde el ordenador central dónde será lanzada la medida (explicado en apartado 5).

- Analizador de redes PNA E8361C (transmisor y receptor): KEYSIGHT (antigua Agilent Technologies [6]) 10MHz-26.5GHz. Es uno de los componentes más importantes a la hora de realizar una medida. En él se configuran todos los parámetros de medida relevantes como son número de puntos frecuenciales necesarios, frecuencia start, frecuencia stop, sweep type y otros valores importantes de forma que puedas sacar los valores de magnitud y fase correspondientes. El analizador (ver Figura 16) se encarga de realizar tanto la función de sistema de transmisión como de recepción. El programa software desarrollado para campo lejano esférico en este proyecto se encargará de coger los datos de este analizador en cada paso de medida.

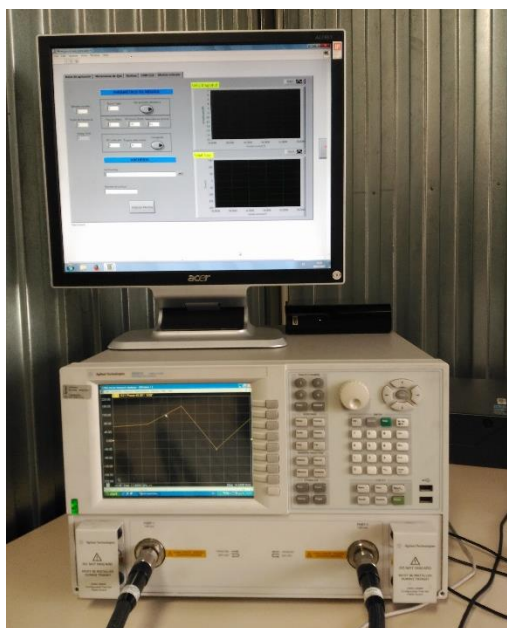


Figura 16. Analizador de redes PNA E8361c



- Programa software spherical far field: software específico que se encargue de realizar la medida, moviendo los motores a través de la aplicación y recogiendo los datos del analizador en cada uno de los pasos medidos, además de múltiples funciones que serán explicadas posteriormente en el apartado 5.

3.5 Inventario de cámara anecoica UPNA

Cuando se realiza una medida es totalmente necesario tener localizados todos los componentes que van a ser utilizados. Por ello, se ha hecho un inventario incluyendo todos los componentes como adaptadores (coaxial-guía), NFP (Near Field Probe), SGH (Standar Gain Horn), bends, transiciones rectangular-circular, twist, guías de onda y kits de calibración.

Todo ello, para cada banda de frecuencias, se puede ver en el Anexo 5.



4. CARACTERIZACIÓN

4.1 Atenuación cables

Para llevar a cabo medidas totalmente óptimas es necesario conocer en qué condiciones trabaja la cámara anecoica y los elementos dentro de ella que se utilizan como parte fundamental de la medida.

Según la frecuencia de medida los cables a utilizar son diferentes. Existen tres tipos de cables diferentes:

- **Cables SMA:** cables utilizados hasta 18.5 GHz.
- **Cables de 3.5mm:** cables utilizados hasta 26.5GHz, aunque podrían alcanzar hasta un máximo de 30 GHz.
- **Cables de 1.85mm:** cables válidos hasta 67 GHz.

Idealmente estos cables tienen predeterminadas unas pérdidas que vienen en sus hojas de características, pero para obtener una mayor exactitud se ha medido cada uno de estos cables con el analizador de redes. Para ello, primero se ha normalizado el parámetro S21 únicamente uniendo los cables de DC que este dispone para que fuese cero dB. A continuación, se ha colocado el cable a medir y se ha visto que pérdidas presentaba respecto a esa normalización.

Los resultados son los mostrados en la Figura 17, Figura 18 y Figura 19 :

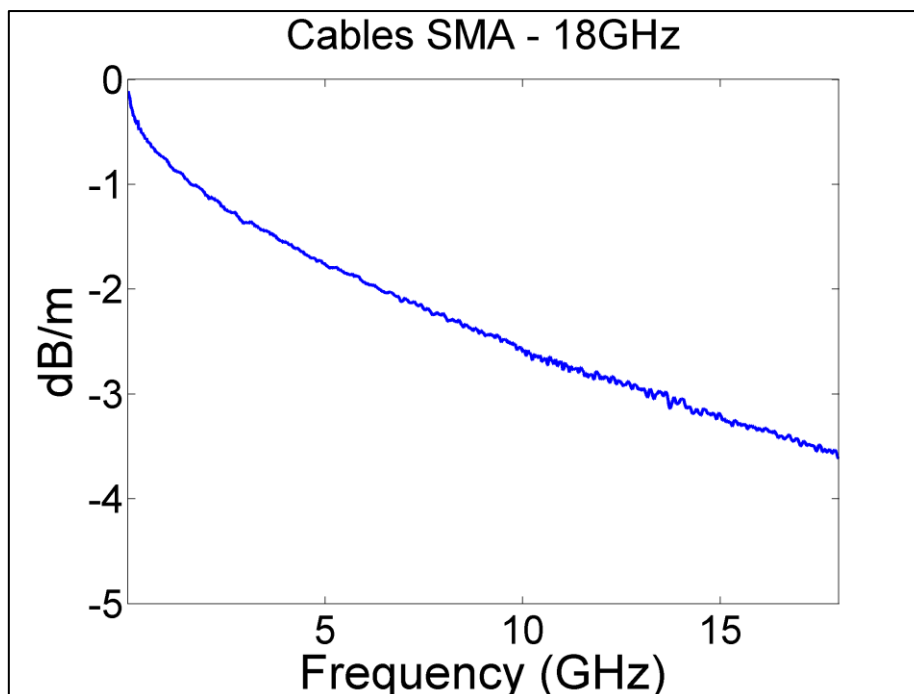


Figura 17. Atenuación (dB/metro) en cables SMA para cada frecuencia

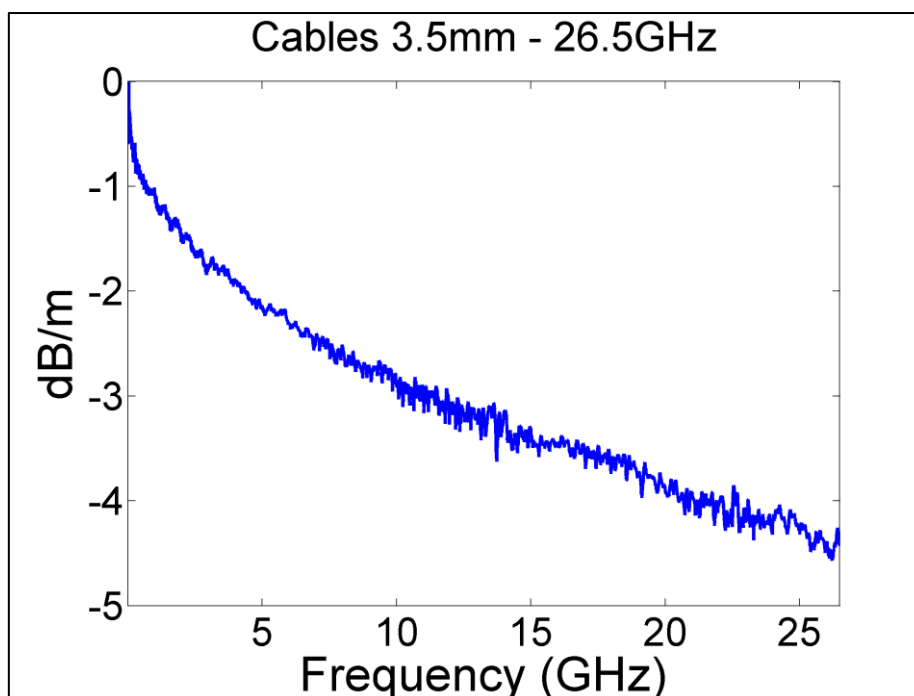


Figura 18. Atenuación (dB/metro) en cables 3.5mm para cada frecuencia

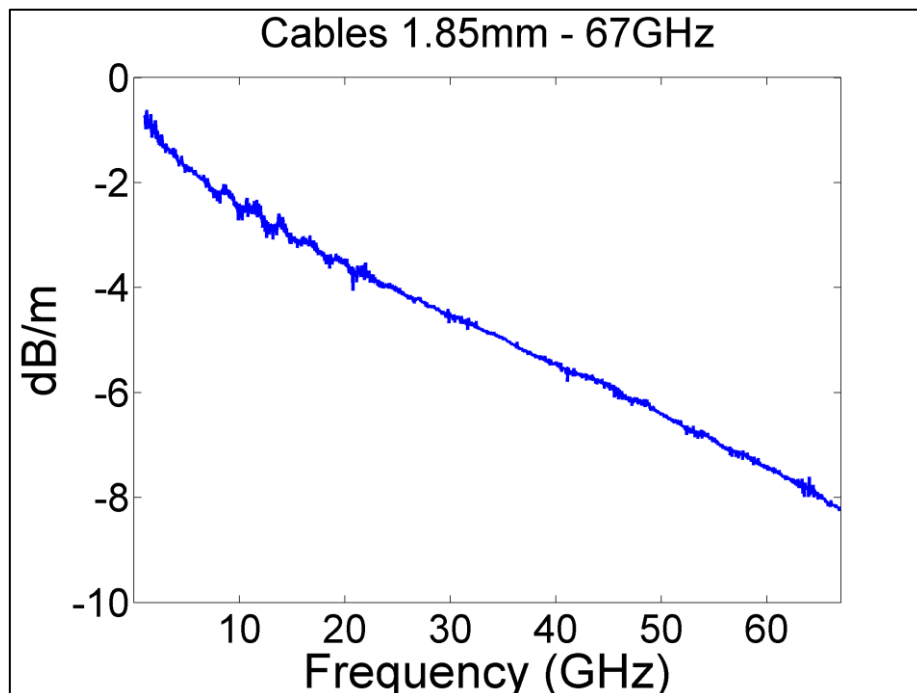


Figura 19. Atenuación (dB/metro) en cables 1.85mm para cada frecuencia

4.2 Nivel de ruido – Margen dinámico

Es interesante conocer cuál es el margen dinámico que se tiene en el entorno de medida. Para ello es necesario obtener, a parte de las pérdidas de cables ya mencionadas, el nivel de ruido para cada banda frecuencial dentro del rango que ofrece el analizador de redes y que es posible medir en la cámara anecoica, en este caso hasta 67 GHz.

Para obtener el nivel de ruido se sigue el siguiente proceso; Primero se divide en bandas frecuenciales el rango total disponible de medida, y una vez hecho esto, los pasos son los mismos en cada una de ellas. Se sitúa la potencia al máximo posible hasta llegar al punto de saturación que marcará el analizador de redes, en ese punto se bajará 1 dB.

Se selecciona un filtro IF, que posteriormente se irá cambiando para analizar el ruido con diferentes valores. Se unen entre si los cables DC del analizador y se normaliza obteniendo así 0 dB. Una vez hecho esto, a cada uno de los extremos de estos cables de 1.85 mm se añade un short del kit de calibración disponible, y de esta forma se observará el nivel de ruido con el que se está trabajando en la cámara anecoica.



Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 1, cubriendo 6 valores diferentes de filtro IF y todo el rango frecuencial hasta 67 GHz.

Tabla 1. Nivel de ruido en analizador de redes según filtro IF y frecuencia

Banda Frecuencial	Frecuencias (GHz)	Max. POWER (dBm)	N.ruido IF=1KHz	N.ruido IF=500Hz	N.ruido IF=100Hz	N.ruido IF=50Hz	N.ruido IF=5Hz	N.ruido IF=1Hz
WR229	3.30 — 4.90	5	-107.01	-109.34	-116.88	-120.14	-133.58	-140.01
WR187	3.95 — 5.85	5	-107.01	-109.28	-116.79	-119.95	-121.04	-130.03
WR159	4.90 — 7.05							
WR137	5.85 — 8.20	6	-106.93	-110.81	-118.25	-121.30	-122.50	-130.90
WR112	7.05 — 10.00							
WR90	8.20 — 12.40	4	-106.02	-108.01	-115.88	-119.30	-120.28	-129.51
WR75	10.00 — 15.00							
WR62	12.40 — 18.00	4	-104.47	-106.92	-114.16	-117.40	-118.02	-126.71
WR51	15.00 — 22.00							
WR42	18.00 — 26.50	3	-98.47	-101.27	-108.76	-111.52	-116.07	-121.54
WR34	22.00 — 33.00							
WR28	26.50 — 40.00	1	-88.29	-91.37	-98.31	-100.77	-102.79	-112.03
WR22	33.00 — 50.00							
WR19	40.00 — 60.00	-3	-80.99	-84.19	-90.46	-93.67	-95.97	-103.89
WR15 (67)	50.00 — 75.00	-4	-79.02	-82.64	-89.21	-92.16	-93.95	-103.18

El objetivo de estos dos parámetros medidos es calcular el margen dinámico (MD) disponible para cada medida concreta. Por ello, se ha añadido una pestaña adicional al software de control llamada “Entorno de medida”, que posteriormente será comentada en el apartado 5. En esta pestaña se puede calcular la potencia recibida (Prx) en función de las ganancias de Tx y Rx, distancia a la que se sitúan las mismas, la atenuación de los cables y las pérdidas de espacio libre. Se calcula el margen dinámico de la siguiente forma:

$$\text{MD} = \text{Prx} - \text{Noise}$$



4.3 Configuraciones de uso

Con todos los datos recogidos hasta el momento se puede generar una tabla que recoja la mayoría de configuraciones de uso posibles dentro de la cámara anecoica (ver Tabla 2). Estas configuraciones de uso dependen principalmente de qué tipo de cable se utilice, cuántos metros de cable se han colocado, distancia entre torres, ganancia de las antenas y otros parámetros. Por ello, se puede localizar la realización de una medida en alguna zona de esta tabla, conociendo de esta forma el margen dinámico que se tiene disponible y como colocar los componentes para realizar una medida adecuada. El cálculo de MD se ha dejado en función de la directividad de la antena a medir. En todas ellas el filtro IF se fija en 1Hz.

Tabla 2. Configuraciones de uso en la cámara anecoica de la UPNA

Cables utilizados	Frecuencia	Max. POWER (dBm)	Gtx (dB)	Metros de cables (m)	Distancia entre torres (m)	Margen dinámico (dB)	MD (dB) para Grx =20 dB
SMA	F. máxima 18.5 GHz (para < F, MD >)	4	20	20	4.5	7.7 + D	27.7
				20	2	14.8 + D	34.8
				10	4.5	43.8 + D	53.8
				10	2	50.8 + D	70.8
				5	4.5	61.8 + D	81.8
				5	2	68.8 + D	88.8
3.5mm	F. máxima 26.5 GHz (para < F, MD >)	2	20	16	4.5	-0.8 + D	19.2
				16	2	6.1 + D	26.1
				10	4.5	25.5 + D	45.5
				10	2	32.5 + D	52.5
				6	4.5	43.1 + D	63.1
				6	2	50.2 + D	70.2
1.85mm	F. máxima 40 GHz (para < F, MD >)	1	20	10	4.5	0.80 + D	20.8
				10	2	21.2 + D	41.2
				5	4.5	28.1 + D	48.1
				5	2	35.2 + D	55.2
				3	2	46.1 + D	66.1
1.85mm	F. máxima 60 GHz (para < F, MD >)	-3	20	10	4.5	-34.6 + D	-14.6
				10	2	-27.5 + D	-7.5
				5	4.5	2.3 + D	22.3
				5	2	9.3 + D	29.3
				3	2	24 + D	44



CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN

Hay que tener en cuenta que algunas de estas configuraciones obligan a introducir el analizador de redes dentro de la cámara anecoica, sobre todo aquellas en las que se usan pocos metros de cables (aproximadamente 4 metros o menos). Las pérdidas originadas por los metros de cable utilizados, sobre todo a frecuencias más altas, son uno de los factores más limitantes para poder mantener el margen dinámico.

Los cálculos están hechos para la frecuencia máxima en cada cable aproximadamente, por lo que si se va a trabajar a una frecuencia más baja con el mismo cable el margen dinámico aumentará notablemente.



5. DESARROLLO DE SOFTWARE

5.1 Introducción

Este capítulo es uno de los más relevantes en la realización de este proyecto, tratará sobre el software específico diseñado para medidas en campo lejano. Primero, se va a introducir la herramienta software con la que se ha llevado a cabo el diseño (LabView), y a continuación, se va a explicar el método de conexión entre el ordenador y componentes externos como son el analizador de redes PNA E8361c y los motores Bazus que mueven el posicionador.

Además, se van a comentar todas las funcionalidades del software de medida y el post-procesado de datos con la herramienta software Matlab.

5.2 LabView

El software capaz de realizar la medida de diagramas de radiación en cámara anecoica está realizado con LabVIEW. LabVIEW se trata de un entorno de programación gráfico que se utiliza hoy en día para desarrollar sistemas tanto software como hardware de pruebas, medida y control, ya sean en tiempo real o simulado. Normalmente, es utilizado en entornos



de investigación, innovación y entornos industriales. Como es en el caso de este proyecto, se utiliza LabVIEW para conectarse con hardware externo (Analizador de redes y Motores Bazus) y desarrollar un sistema de medida. Gracias a su facilidad de uso se pueden implementar programas complejos que solucionen los problemas del usuario [1][7].

La gran diferencia de esta herramienta de programación es el trabajar con código gráfico, conocido como G, que además contiene su propio compilador incluido. LabVIEW se guía por flujo de datos, mientras que la programación en Java, C++ u otros similares se basa en un flujo de control. La diferencia es que en el primer caso se realizan las funciones cuando los datos de entrada para ellas están disponibles, incluso realizando varias tareas a la vez que no dependan de variables de salida de otras, sin embargo, en el flujo de control cada existe un orden secuencial de elementos en el programa y por ello la ejecución tiene un orden concreto [8].

Las páginas de código en LabVIEW se llaman instrumentos virtuales (VIs), los cuales permiten un diseño compacto ya que se pueden crear en cantidades elevadas, incluso introduciendo unos dentro de otros. Esto se correspondería a multitud de páginas de código de texto.

Además, LabVIEW facilita la conexión con múltiples interfaces de comunicación, por ejemplo: puerto serie y paralelo, TCP/IP, UDP, USB, GPIB, etc... Este es un factor muy importante en el proyecto ya que es necesario conectar el ordenador central, donde estará ejecutándose LabVIEW, con los componentes como son el Analizador de redes (mediante NI VISA, explicado en el apartado 6.2.1) y los motores del fabricante Bazus (mediante DDE, explicado en el apartado 6.2.2). Esta herramienta software permite también interactuar con otros lenguajes de programación (Librerías DDL, Matlab/Simulink, AutoCAD, SolidWorks, etc...), introduciendo los mismos dentro de la programación y así reutilizando códigos que ya estén creados.



5.3 Conexiones con componentes externos

5.3.1 Conexión con analizador de redes PNA E8361c

Para conectar LabVIEW al analizador de redes que provee de los datos de medida se utiliza NI-VISA (Virtual Instrument Software Architecture) [9]. NI-VISA es un software proporcionado por National Instruments que permite configurar, programar y depurar diferentes conexiones con instrumentos externos para interfaces de comunicación como son GPIB, VXI, PXI, Serial, Ethernet o USB. Es un interfaz de programación entre el hardware correspondiente y el entorno de desarrollo, en este caso LabVIEW.

En el caso de la conexión mencionada se va a utilizar un interfaz tipo USB [1].

5.3.2 Conexión con motores Bazus

Como se ha mencionado anteriormente, para mover los motores de la estructura del posicionador existían dos opciones, manualmente con el mando unido a los motores (el sistema deja de ser automático) o a través de la aplicación que proporciona Bazus (Dyfe-positioner) para mover los motores desde un ordenador.

En esta aplicación se pueden mandar las ordenes a los motores directamente (“Introducir las Cotas de Destino del Movimiento”) o permite recibir órdenes de un software externo para posteriormente pasarlas a los motores (“Recibir Órdenes de Movimiento Externas”), como se puede observar en la Figura 20.

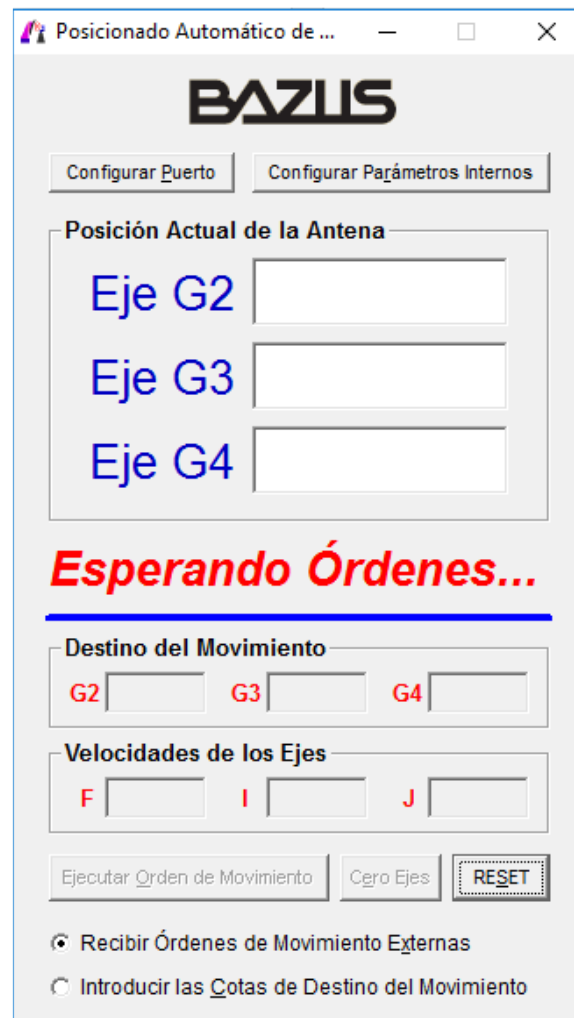


Figura 20. Aplicación Dyfe-Positioner

En este caso se debe hacer una conexión entre LabView y la aplicación Dyfe-positioner, que se realizará a través de una conversación DDE (Protocolo Dynamic Data Exchange) [10]. Este protocolo sirve para comunicar múltiples aplicaciones en un mismo ordenador a través de mensajes o comandos entre ellas. Por este motivo, las dos aplicaciones tienen que estar corriendo en Windows y tienen que mandar su “function callback address” a este antes de que comiencen a repartirse datos por DDE. Cuando una de las aplicaciones inicie la conversación y mande datos mediante DDE a la otra Windows llamará a dicha función mencionada para hacer la comunicación posible.

Existen dos posibles configuraciones dentro de LabView para este protocolo. La primera es usar LabView como un cliente DDE y la segunda es utilizar LabView como servidor DDE.

En la primera de ellas se pueden mandar y pedir datos a la aplicación, así como hacer que ejecute comandos. Es decir, la otra aplicación sería el servidor que ofrece los datos que posee o ejecuta órdenes mandadas desde el cliente. En la segunda opción se configura LabView como un servidor, haciendo que este sea el que recibe esas órdenes, peticiones de datos u otros.

En el caso del software creado para este proyecto y por las funcionalidades que se necesitan hay que configurar LabView como un cliente, mientras que la aplicación de Bazus será un servidor. En el servidor, cuando se configura una conversación DDE, tiene que existir un service name y un topic al que el cliente pueda reconocer y “conectarse” para poder mandarle datos [11]. También existe un ítem, que sería el dato en concreto o variable de la aplicación del servidor que se quiere cambiar o recibir. Esto en el caso de Bazus serían, por ejemplo, las cajas de texto donde se vuelcan los destinos de movimiento o las cajas de texto donde se vuelcan los datos de velocidad de los ejes. Como se puede observar en la Figura 21, G2, G3, G4 y F, I, J son ítems a los que se les puede cambiar el dato.

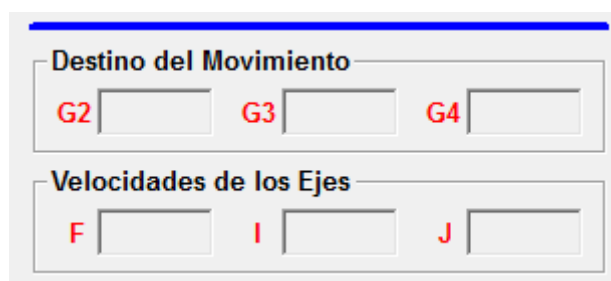


Figura 21. Items de movimiento y velocidad dentro de la Aplicación

Un ejemplo sobre cómo se haría una llamada completa para cambiar el ítem de destino movimiento es el mostrado en la Figura 22. Esta acción se llevaría a cabo desde LabView, como cliente DDE.

```
Label2(j).LinkTopic = "Dyfe-POSITIONER|Target"
Label2(j).LinkItem = "Txt_Destino(j)"
Label2(j).LinkMode = [Automático]
```

donde j = 0, 1 y 2

Figura 22. Ejemplo sobre llamada completa para cambiar posición de destino



En LabView el proceso para poder realizar un movimiento de los motores es el siguiente.

1. Abrir conversación DDE entre LabView y la aplicación de Bazus (ver Figura 23).

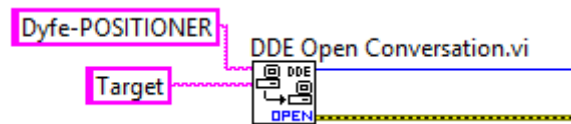


Figura 23. Paso 1 - Abrir conversación DDE con el servidor

2. Primero se actualiza la aplicación servidor y se pone en modo lectura ("Read Mode", ver Figura 24). Seguido se hace un request (con item label 1, que se encarga del envío de peticiones y respuestas) en el que la aplicación devuelve si ya está preparada para el envío de datos o no. En caso de no recibir nada quiere decir que si, en caso contrario, devuelve diferentes valores que indican que puede estar pasando.

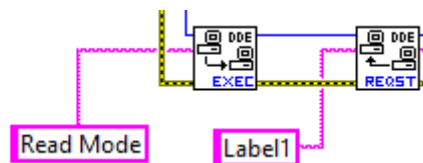


Figura 24. Paso 2 - Poner en modo lectura la Aplicación de Bazus

3. A continuación, se manda el dato de destino de movimiento y velocidad al servidor DDE para que este lo ponga dentro de la aplicación en las cajas de texto correspondientes. (ver Figura 25) Esto se hará para cambiar todas las cajas de texto que sean necesarias.

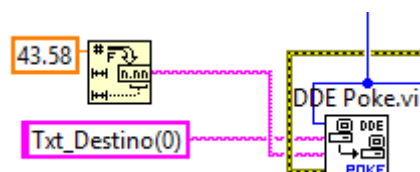


Figura 25. Paso 3 - Establecimiento del dato destino de movimiento

4. Por último, se manda una orden de ejecución de comandos. El comando será "Execute Movement" que moverá el posicionador al destino indicado en el paso 3.

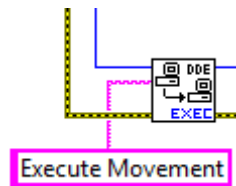


Figura 26. Paso 4 - ejecutar orden de movimiento

5.4 Funcionalidades

5.4.1 Inicio de Aplicación

En esta primera pestaña se puede iniciar la aplicación de los motores Bazus (Dyfe-positioner), de forma que ya este corriendo en Windows para la posterior conversación DDE. Cuando se encienden los motores por primera vez a la hora de hacer una medida las posiciones que aparecen en la aplicación para cada uno de los ejes son posiciones absolutas. Por ello, se ha añadido un control en LabView que permite mover las antenas a una posición ya testada anteriormente donde están alineadas, y posteriormente, hace que esa sea la posición de referencia en (0,0,0).

Además, se puede seleccionar el puerto USB donde está conectado el analizador. Estas funciones se muestran en la Figura 27.

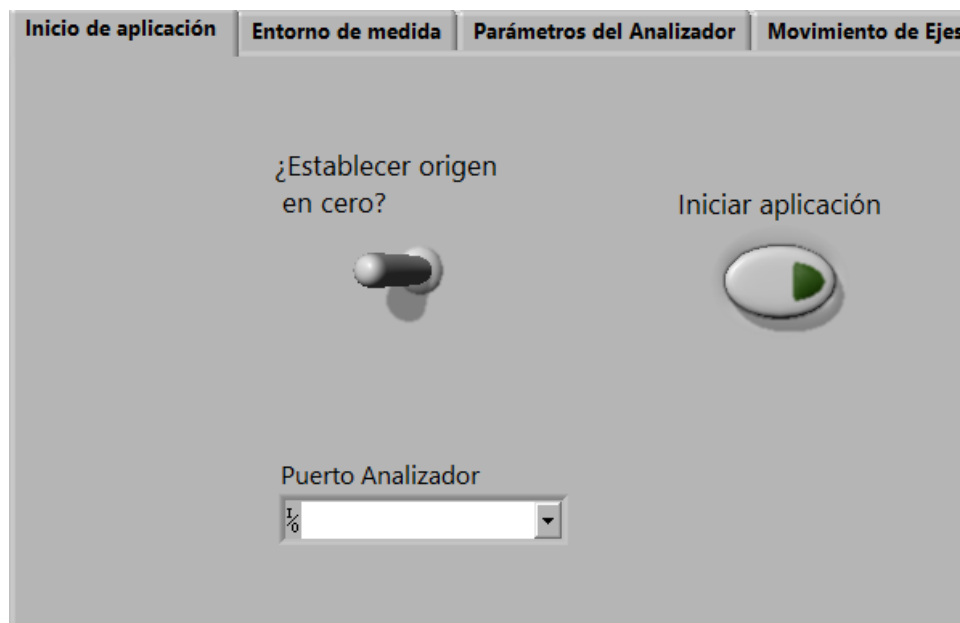


Figura 27. Pestaña "Inicio de aplicación" en LabView.

5.4.2 Entorno de medida

Como una de las funcionalidades principales de este software se encuentran los cálculos relevantes del entorno de medida (2ª pestaña). En esta pestaña se pueden calcular ciertos parámetros que pueden ser de utilidad a la hora de realizar una medida:

- Cálculo de campo lejano y cercano: calcula las distancias (cm) a las que se sitúa el campo cercano o lejano para la antena que se desea medir, en función del diámetro de la boca de la antena y la mayor frecuencia utilizada en la medida. Facilita el conocer que sistema de medida es mejor utilizar para cada antena concreta.
- Cálculo de potencia recibida: se calcula cual es la potencia recibida en la antena receptora. Esto sirve posteriormente para obtener el margen dinámico (MD), que es el que realmente informa de si hay rango suficiente para medir o no. El cálculo es el siguiente.

$$Prx = Ptx + Grx + Gtx - L_{cable} - FSPL$$

$$FSPL \text{ (Free Space Path Loss)} = 20 * \log_{10}(d) + 20 * \log_{10}(f) - 147.55$$

- Nivel de ruido y Margen dinámico: en el analizador se obtiene un nivel de ruido diferente según la banda frecuencial y el filtro IF seleccionado (Proceso explicado en apartado 4.2). A partir de este nivel no se puede diferenciar la señal medida del ruido del analizador. Por ello, mediante la potencia recibida calculada anteriormente y este nivel de ruido, se calcula el margen dinámico del que se va a disponer a la hora de hacer la medida. Si este margen dinámico no es suficiente habrá que cambiar ciertos aspectos del entorno, por ejemplo, hacer que la distancia entre transmisor y receptor sea menor o que los metros de cable utilizado también sea menores.

En la Figura 28 se puede ver un ejemplo de los cálculos mencionados anteriormente.

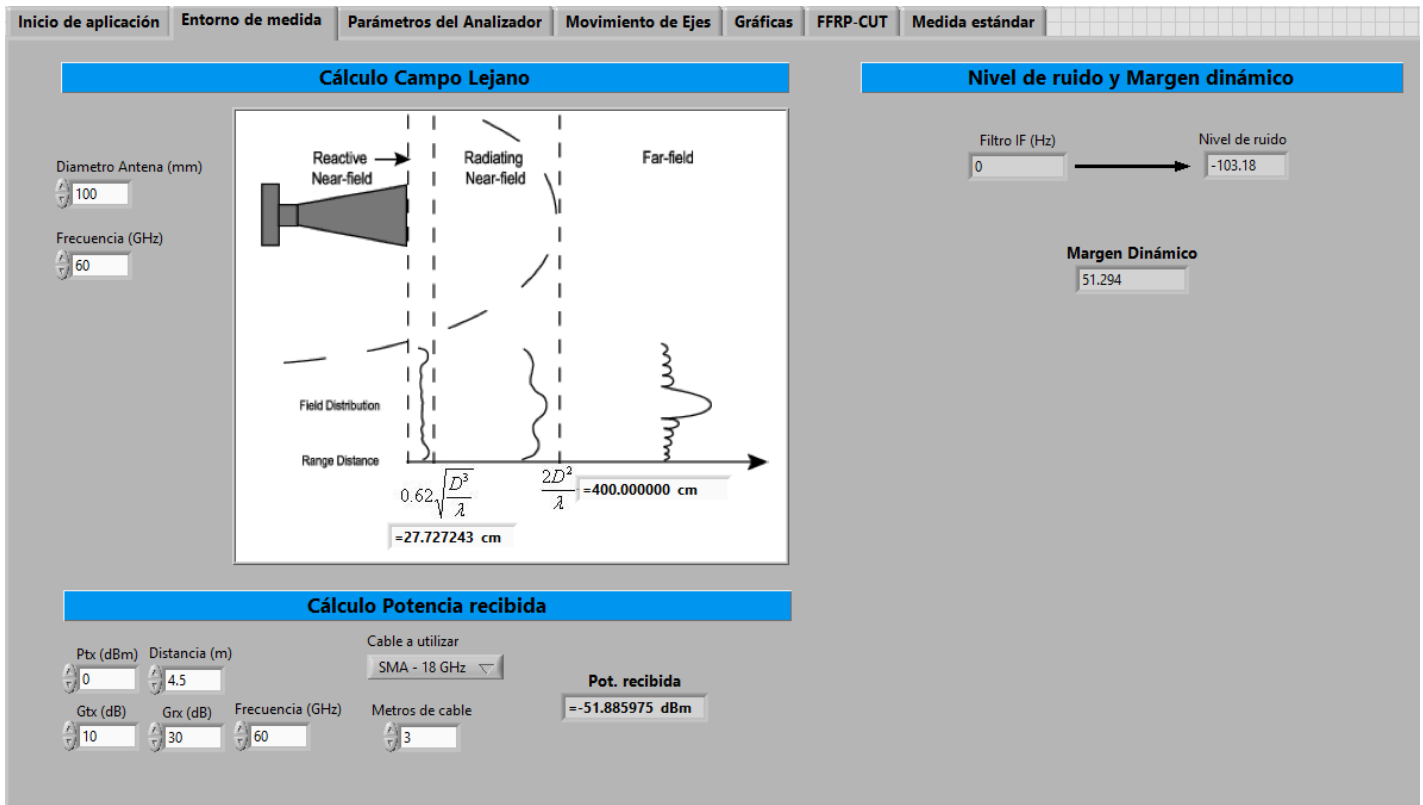


Figura 28. Pestaña "Entorno de medida" en LabView

5.4.3 Parámetros del analizador

Desde el software llevado a cabo se pueden establecer los parámetros más importantes del analizador de redes desde el ordenador central (ver Figura 29). Se mandan dichos valores al analizador haciendo más cómodo y funcional el tratar con solo un equipo en vez de dos.

Estos parámetros principales son los siguientes:

- Frequency Start (GHz)
- Frequency Stop (GHz)
- Number of points (número de puntos frecuenciales)
- Sweep Type
- IF Bandwidth (Hz)
- Preset

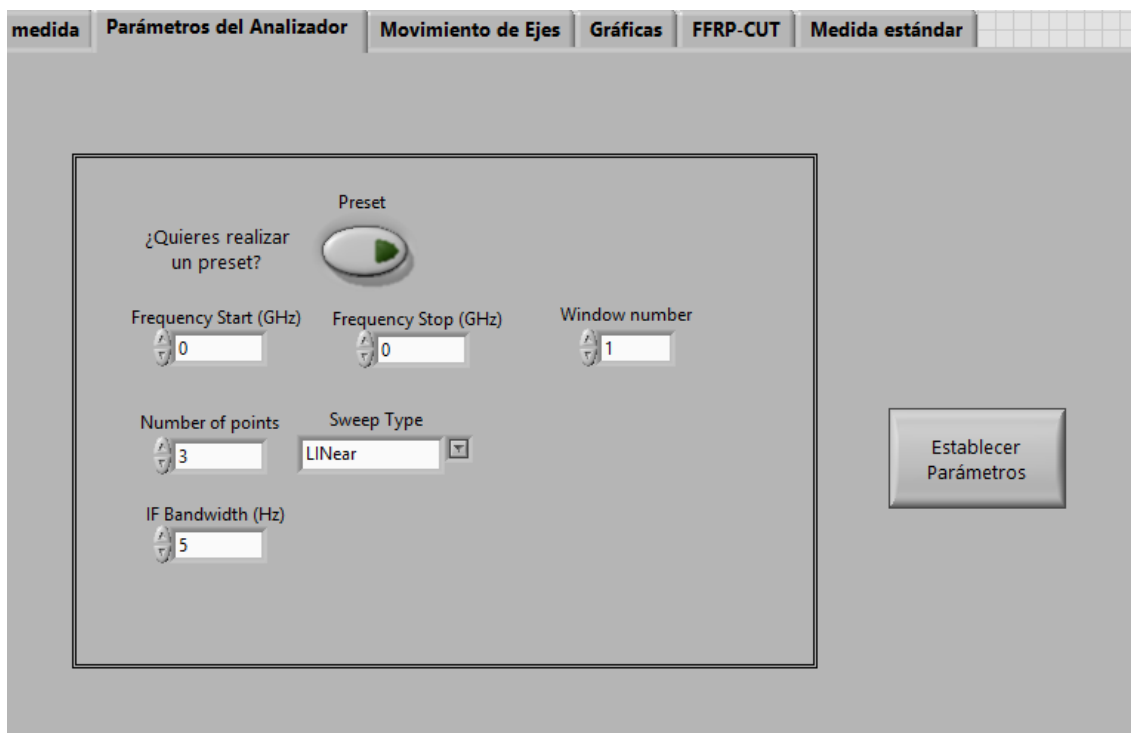


Figura 29. Establecer parámetros en el analizador de redes desde LabView

5.4.4 Movimiento de ejes

En esta pestaña (ver Figura 30) se puede hacer movimiento independiente de cada uno de los ejes correspondientes a los motores X, Y y Z. Por ejemplo, de utilidad a la hora de alinear las antenas.

Los motores funcionan marcando la posición en grados a la que se quiere mover el posicionador (posición destino), no marcando de cuantos grados se quiere que sea el movimiento. Es importante tener en cuenta las velocidades para cada uno de los ejes, sobre todo en el eje Z – Azimut. En este eje la velocidad máxima recomendada es de 0.1/0.2, ya que a más velocidad la estructura vibra considerablemente y en la aceleración y frenado los golpes son muy fuertes. Sin embargo, en el resto de los ejes las velocidades pueden llegar a ser incluso de 1.

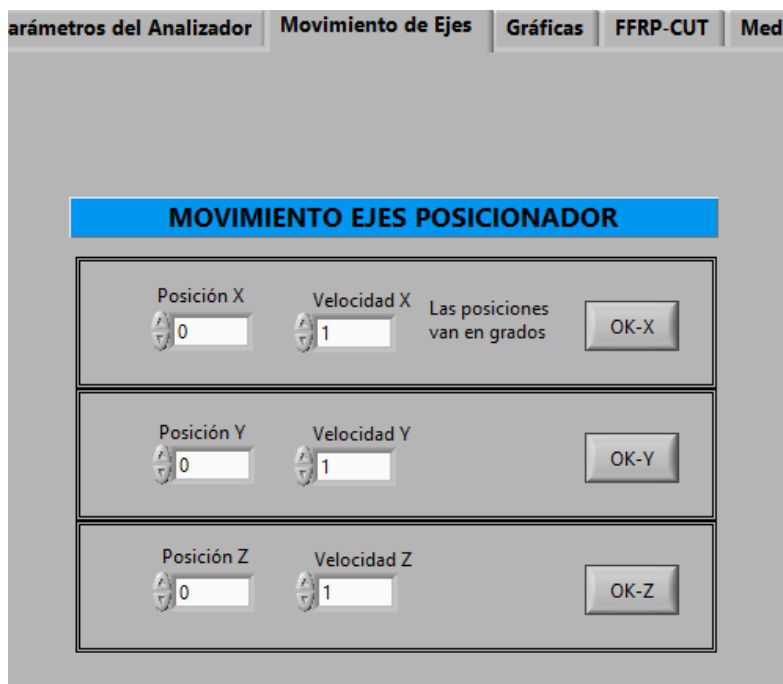


Figura 30. Movimiento de ejes independiente desde LabView

5.4.5 Gráficas

En la pestaña de “Gráficas” se puede realizar la medida correspondiente a uno de los cortes del diagrama de radiación más importantes, y tanto la magnitud como la fase serán pintados para todos los puntos medidos (ver Figura 31). Su función principal es ayudar a la hora de alinear las antenas, ya que conseguir que la fase se dibuje plana en su mayoría ayuda a tener unos resultados óptimos del diagrama de radiación.

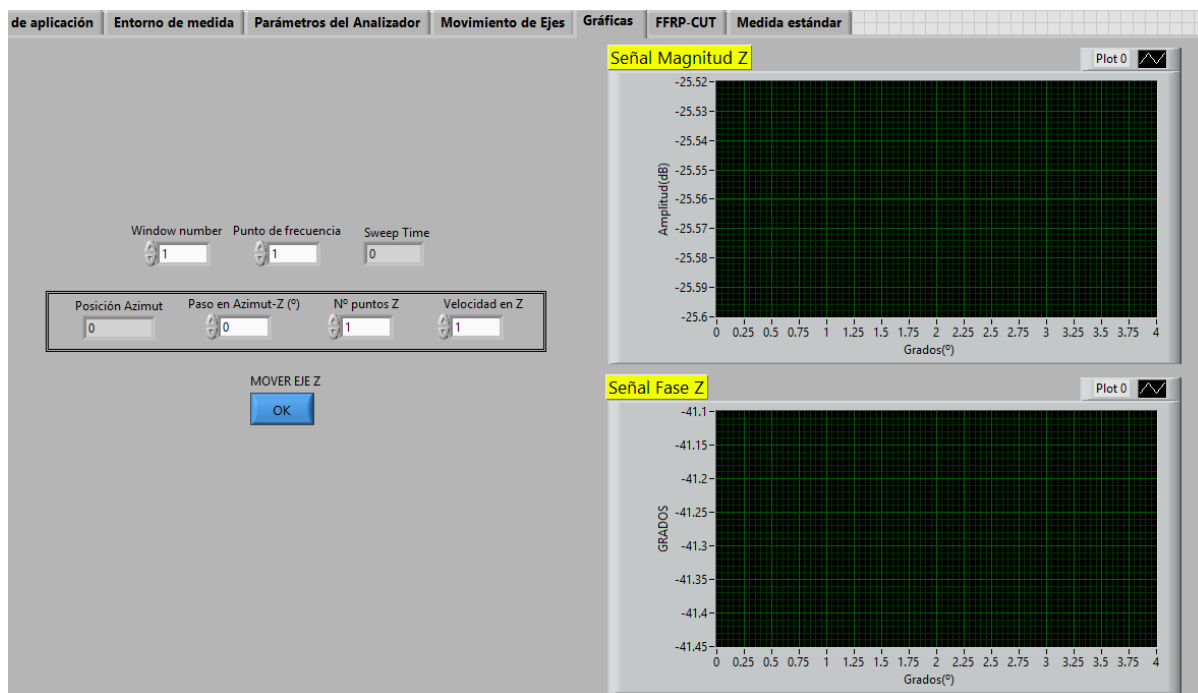


Figura 31. Representación de magnitud y fase para un corte desde LabView

Se pueden dibujar las gráficas para diferentes puntos frecuenciales, según los seleccionados en el analizador de redes, aunque habitualmente se suelen representar para la frecuencia central. El resultado de uno de los cortes dibujados como ejemplo se puede ver en la Figura 32.

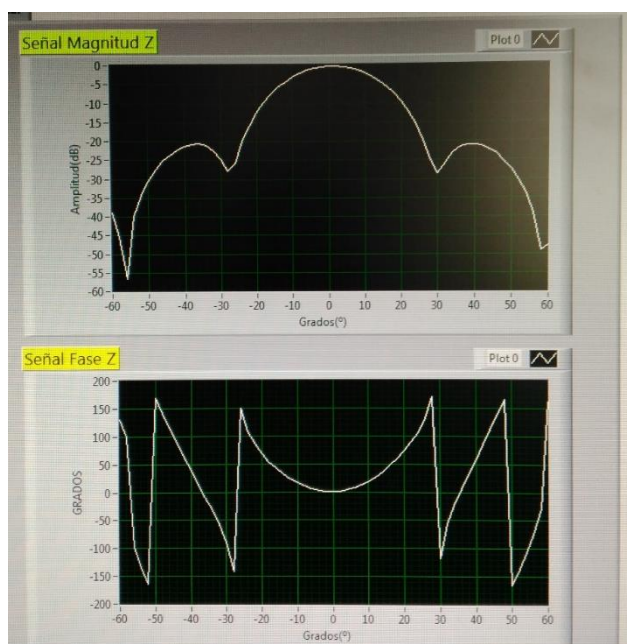


Figura 32. Ejemplo para la representación de gráficas en magnitud y fase

5.4.6 FFRP-CUT

En la pestaña de FFRP (Far Field Radiation Pattern) se puede medir un corte del diagrama de radiación de la antena a un ángulo ϕ concreto (ver Figura 33). La gran diferencia con la funcionalidad anterior es que ahora los datos se guardan en un archivo seleccionado por el usuario, mientras que antes únicamente pintaba los diagramas en las gráficas correspondientes.

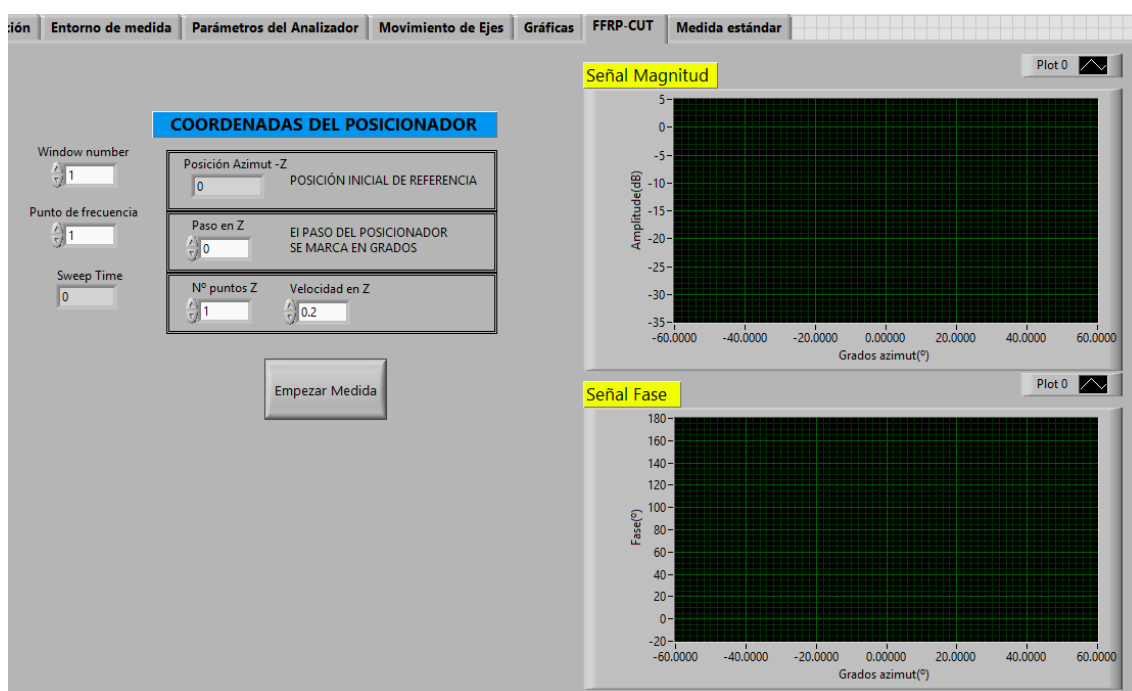


Figura 33. Medida de un corte del diagrama de radiación

5.4.7 Medida estándar

“Medida estándar” es la funcionalidad principal del programa, y se trata de poder medir todos los cortes en ϕ de un diagrama de radiación de una antena. Permite medir todos los cortes necesarios, equidistantes entre sí en ángulo ϕ , tanto para co-polar como para cross-polar haciendo para cada uno de ellos un barrido en θ . Esto se puede observar en la Figura 34.

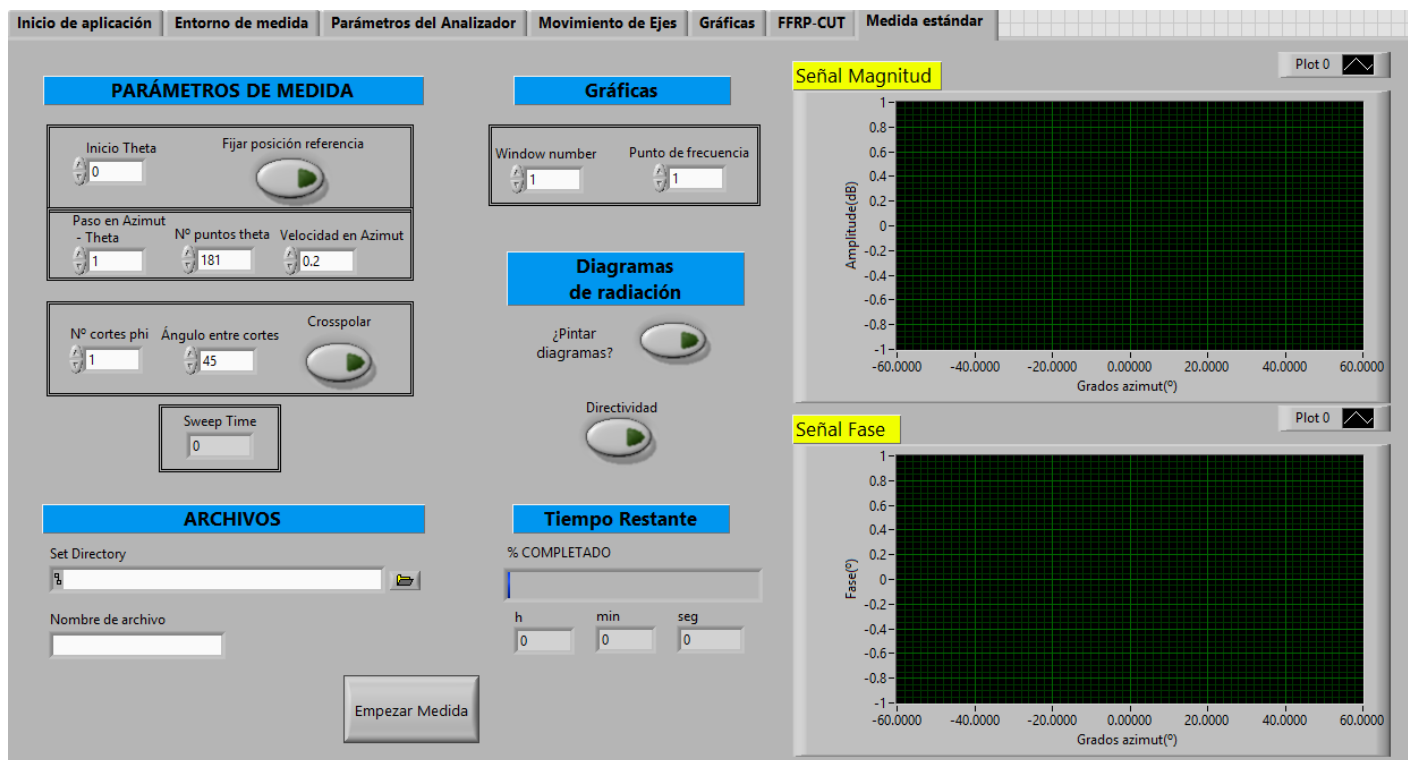


Figura 34. Pestaña "Medida estándar" en LabView

Parámetros de medida: Un ejemplo de medida sería, por ejemplo, seleccionar medir cross-polar, nº cortes phi = 4 y Ángulo entre cortes = 45° . Suponiendo que el paso en theta es de 1° y mide 181 puntos (posición inicial = -90°), se realizarán 4 cortes en co-polar para phi = 0° , 45° , 90° y 135° , cada uno desde -90 a 90° en theta, y de la misma forma se realizarán los mismos cortes para la componente cross-polar. De manera totalmente automática, después de seleccionar todos estos parámetros, se miden todos los cortes sin necesidad alguna de interacción por parte del usuario para mover los motores en cada uno de los cortes.

Archivos: se especifica la ruta dónde los archivos van a ser guardados ("Set directory") y un nombre general de medida ("Nombre de archivo"). De esta manera, los archivos son creados y guardados automáticamente cada vez que se crea un corte en phi para medir.

Gráficas: las gráficas son dibujadas una vez la medida se está realizando, estas se reinician cada vez que se comienza a medir un corte nuevo en phi.

Tiempo restante: marca el porcentaje completado de la medida y las horas restantes para que ésta acabe.



Diagrama de radiación: otra de las funcionalidades principales del programa es la incorporación del post-procesado de datos medidos en Matlab (diagramas de radiación) dentro del software de LabView, de forma que al acabar la medida. Explicado en el apartado 5.5 a continuación.

5.5 Procesado de datos Matlab

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los puntos a destacar en el proyecto es el post-procesado de los datos medidos mediante la herramienta Matlab. Normalmente, el proceso se basa en coger los archivos con los datos de medida y procesarlos en un ordenador propio a través de Matlab, haciendo que no sea automático el conocer como salen representados todos los cortes del diagrama de radiación para cada frecuencia al instante de acabar la medida.

Es por esto que se ha añadido esta funcionalidad dentro del programa software de LabView. Cuando la medida está finalizada, se guardan imágenes correspondientes a los diagramas de radiación para cada frecuencia.

Para realizar dicha función LabView permite incluir código de otra herramienta software en su interior, en este caso, es mucho más funcional ya que el post-procesado es mucho más eficiente si está hecho con Matlab y se puede reutilizar el código creado para ello. La forma más sencilla de llegar a este objetivo es la que se muestra en la Figura 35. Habrá que complementar las variables de entrada y salida de LabView con las de Matlab haciendo que todos los nombres correspondan.

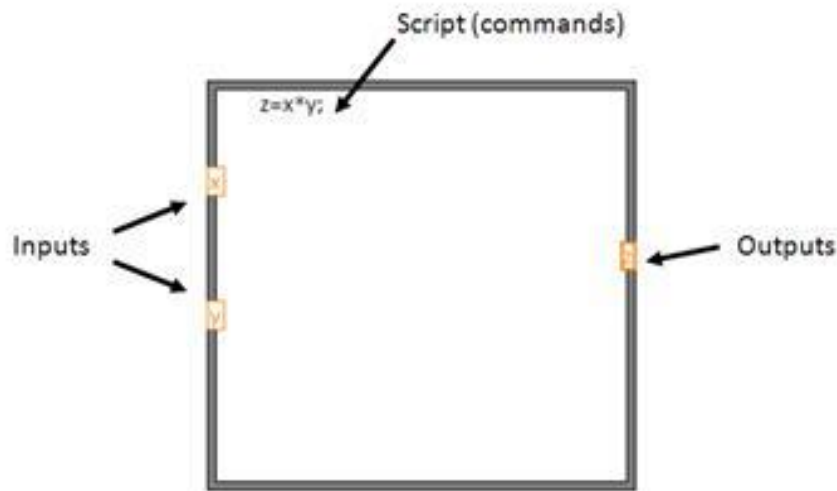


Figura 35. Forma de programa código de Matlab dentro de LabView

Se ha realizado un código específico con los siguientes pasos y funciones:

- Se leen los archivos .dat y se construye una variable llamada *E_field*. Esta variable contiene en su interior cada una de las frecuencias medidas en una posición y, dentro de cada frecuencia se sitúan los datos de theta y phi, siendo filas y columnas respectivamente. Los datos dentro de *E_field* son números complejos. Lo mismo se realiza para los datos de cross-polar creando la variable *E_field_crosspolar*.
- Una vez se tienen los datos en el orden correcto, existe la posibilidad de centrar los diagramas en torno al valor máximo de medida. De esta forma todos los cortes del diagrama de radiación están centrados en 0° corrigiendo ciertos errores que provengan de la no exactitud de la medida.
- Dichos diagramas de radiación pueden ser representados con o sin la simulación realizada anteriormente para la antena medida. A su vez, existe esta misma posibilidad para la componente en cross-polar.
- Se pueden guardar archivos de la medida en formato .cut.
- Incluye una función para hallar la directividad a través de todos los cortes realizados en la medida.
- Además, se incluye una gráfica con los resultados de máxima cross-polar medida. Se calcula el máximo de cross-polar dentro de un ángulo de grados decidido por el usuario para cada una de las frecuencias de interés.



CAPÍTULO 5. DESARROLLO DE SOFTWARE

No todas estas funciones, aunque estén realizadas, están incluidas dentro del software de LabView. No quiere decir que el programa no esté resuelto para resolver estas capacidades, sino que lo que se quiere conseguir es aportar comodidad y primeras informaciones rápidamente tras acabar la medida. Por ello, se han suprimido ciertas funciones que no sean tan relevantes a la hora de conocer los resultados finales como la gráfica para hallar la máxima cross-polar, los archivos cut o el centrado de diagramas de radiación.



6. VERIFICACIÓN: MEDIDAS FF

6.1 Introducción

En este capítulo se va a describir la verificación llevada a cabo para la nueva cámara anecoica, a través de medidas far field en diferentes bandas frecuenciales. Inicialmente, se va a ver la evolución que ha sufrido la cámara anecoica realizando medidas de antenas que ya estaban testadas en momentos anteriores al cambio, así como el proceso general de una medida en far field. De esta forma, se podrá ver la evolución y mejora en las medidas a nivel de rizado y optimización de los diagramas de radiación.

Por último, se van a mostrar más medidas realizadas como añadido a esta verificación.

6.2 Proceso de medida far field

Una medida en campo lejano esférico se compone de diferentes pasos a seguir. Principalmente se habla de mover los posicionadores en theta (Azimuth, eje z) y phi (eje x e y), como se representa en la Figura 36 [12]. Por ello, cada corte de un diagrama de radiación, se crea moviendo desde un punto inicial a punto final en el eje z con un paso (ángulo) en theta constante. En cada uno de estos pasos se recogen los datos desde el analizador vectorial

de redes. Una vez un corte ha sido acabado es necesario mover los posicionadores (ejes x e y) en phi, dejándolos preparados para realizar un nuevo corte siguiendo el mismo proceso.

Cuando se está midiendo copolar el desfase entre las dos antenas, situadas en los ejes x e y, debe ser de 0° . Sin embargo, cuando se mide cross-polar este desfase debe ser de 90° .

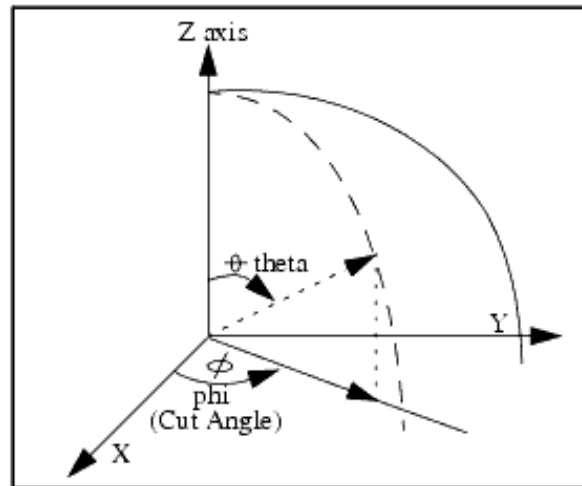


Figura 36. Cortes del diagrama de radiación de una antena

6.3 Evolución de medidas

La medida realizada para ofrecer una buena comparación del antes y el después del estado de la cámara anecoica se corresponde con un Feed chain GEO (transición + filtro + Bocina) para un proyecto de espacio, concretamente para un satélite en colaboración con ESA (European Space Agency). Esta medida comprende las frecuencias entre 10.5 y 15 GHz, siendo de 12.95 a 14.85 GHz la banda de interés real.

El margen dinámico del que se dispone ha sido calculado gracias al software de medida diseñado, donde se obtienen los valores principales del entorno de medida. En esta caso el margen dinámico tiene un valor de 36.6 dB.

Esta cadena ha sido medida tanto en campo cercano plano y campo lejano esférico antes de evolucionar la cámara anecoica. Esta parte del proyecto el objetivo es comparar medidas realizadas en campo lejano, y por este motivo, la medida en campo cercano plano será comentada posteriormente en el *complemento al TFM que acompaña este trabajo*.

El **proceso** para medir una antena de este tipo, cuando la cámara no estaba montada ni el software diseñado, era el siguiente:

- Se necesitaban dos personas para poder realizar la medida. Una de ellas se encargaba de mover el posicionador, para recorrer todos los ángulos en theta que forman un corte del diagrama de radiación. A su vez, para agilizar el proceso otra persona va recogiendo los datos del analizador de redes manualmente.
- Cuando era necesario se movían las antenas en phi para poder realizar otro corte completo.
- Realizar cada uno de los cortes del diagrama de radiación duraba en torno a 2.5/3 horas aproximadamente, con la necesidad de presencia de dos personas en todo momento. El número de puntos en esta medida era de 121, desde -60° a 60° en theta con pasos de 1° . Por tanto, realizando una medida estándar con 4 cortes en copolar y 4 cortes en cross-polar resulta en un total de 20-24 horas de medida de tiempo presencial.

Los resultados obtenidos se pueden observar en la Figura 37, Figura 38 y Figura 39.

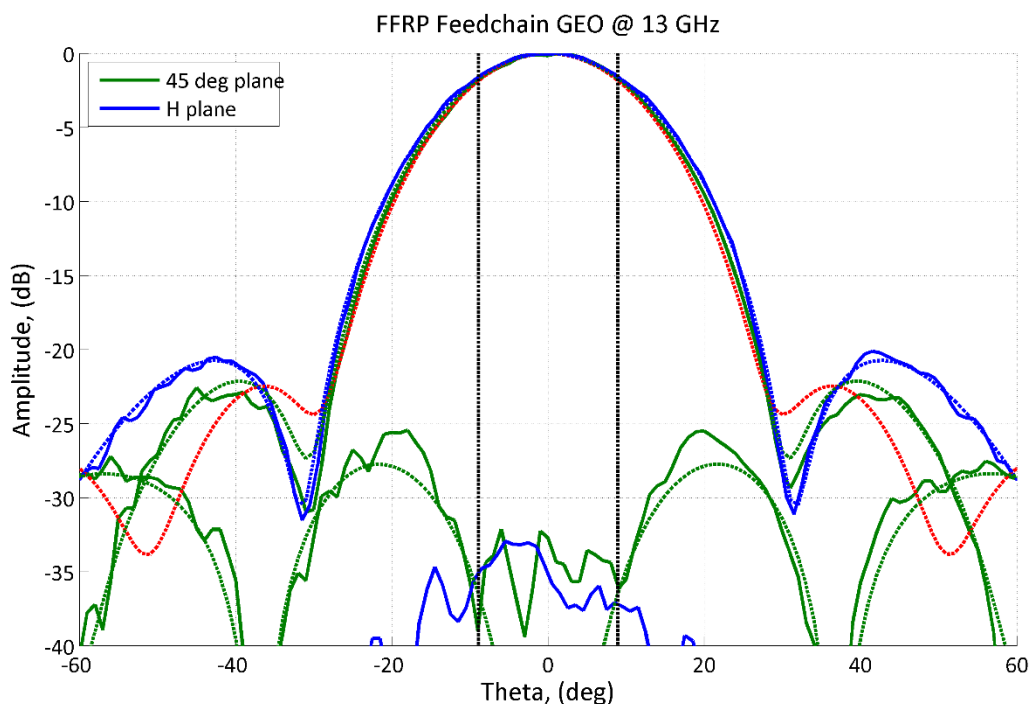


Figura 37. Diagrama de radiación antiguo a 13 GHz

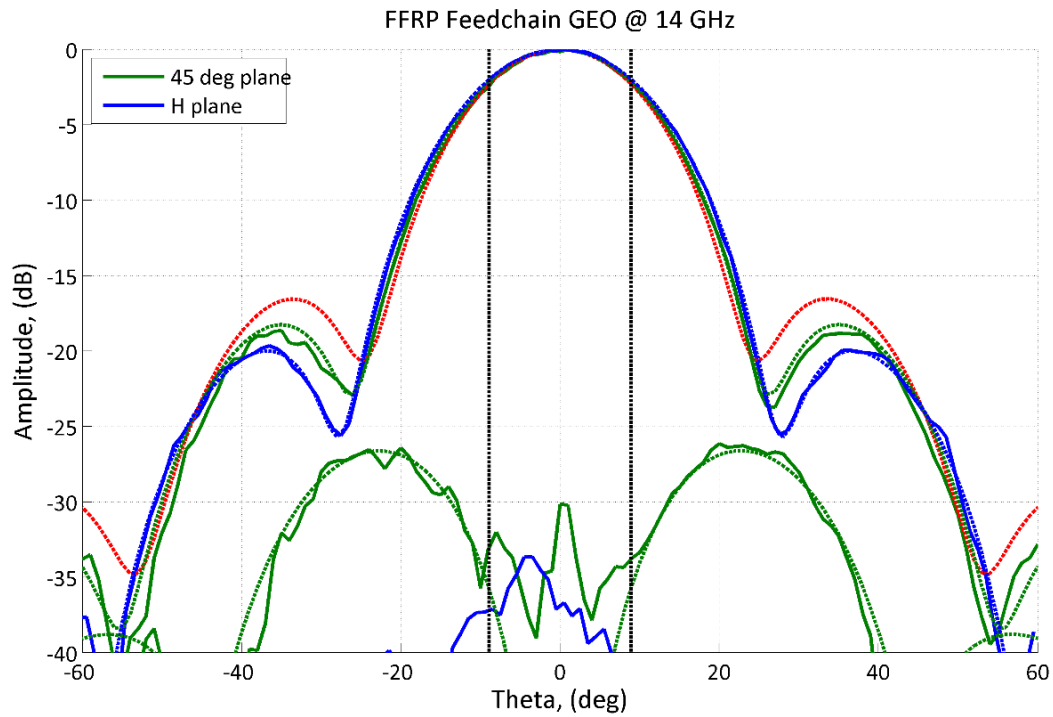


Figura 38. Diagrama de radiación antiguo a 14 GHz

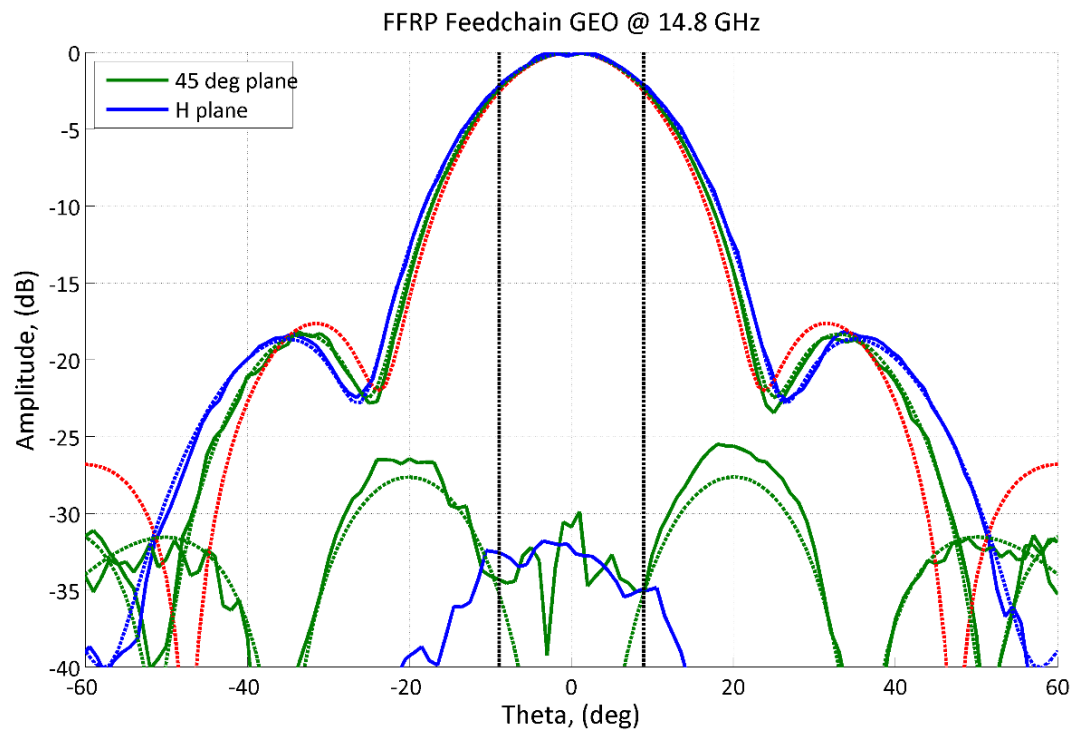


Figura 39. Diagrama de radiación antiguo a 14.8 GHz

Con el estado actual de la cámara el **proceso** ha cambiado totalmente.

- El procedimiento es automático completamente. Es necesario que una persona se encargue de utilizar el software diseñado estableciendo los parámetros necesarios (puntos de medida en theta, número de cortes en phi a realizar, ángulo entre cortes, etc... ver Capítulo 5). Una vez han sido establecidos, los datos de medida son recogidos automáticamente.
- Con los mismos parámetros que en el caso anterior (cuando la cámara no estaba mejorada), una medida estándar de 8 cortes, 4 en copolar y 4 en cross-polar cada 45°, dura aproximadamente **1 hora y 30 minutos** de tiempo no presencial. Por supuesto, todo depende del sweep time seleccionado más la velocidad elegida para los motores.

Es decir, el ahorro en tiempo es el siguiente:

$$\frac{22 \text{ horas (media)} - 1.5 \text{ horas}}{22 \text{ horas}} = \mathbf{93.18\% \text{ de ahorro en tiempo.}}$$

El setup de medida se puede ver en la Figura 40.

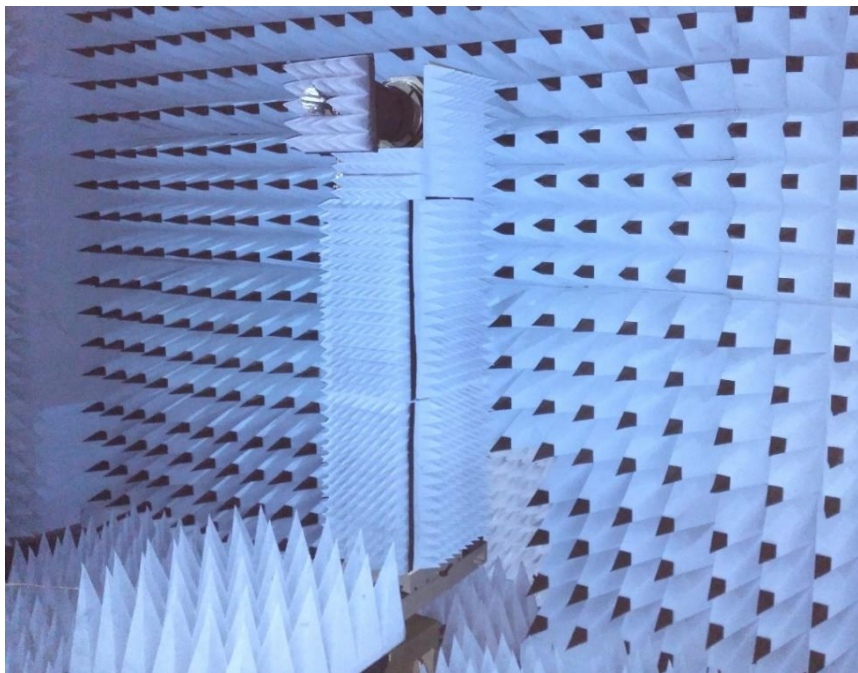


Figura 40. Set-up de medida para el Feed Chain GEO

Los resultados para la medida con la cámara anecoica reorganizada y con el software específico realizado se muestran a continuación en la Figura 41, Figura 42 y Figura 43.

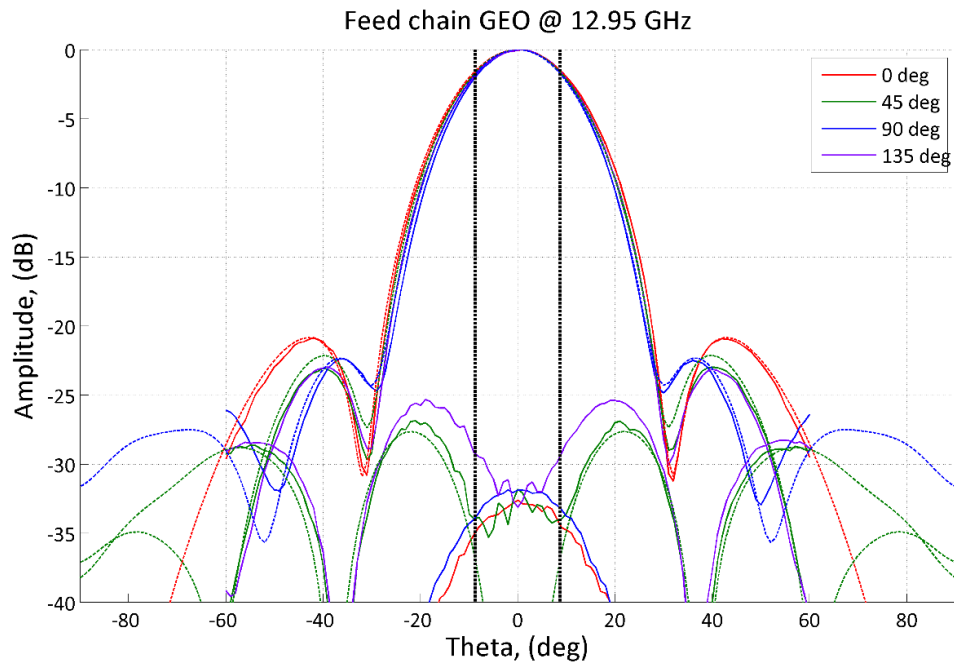


Figura 41. Diagrama de radiación nuevo a 12.95 GHz

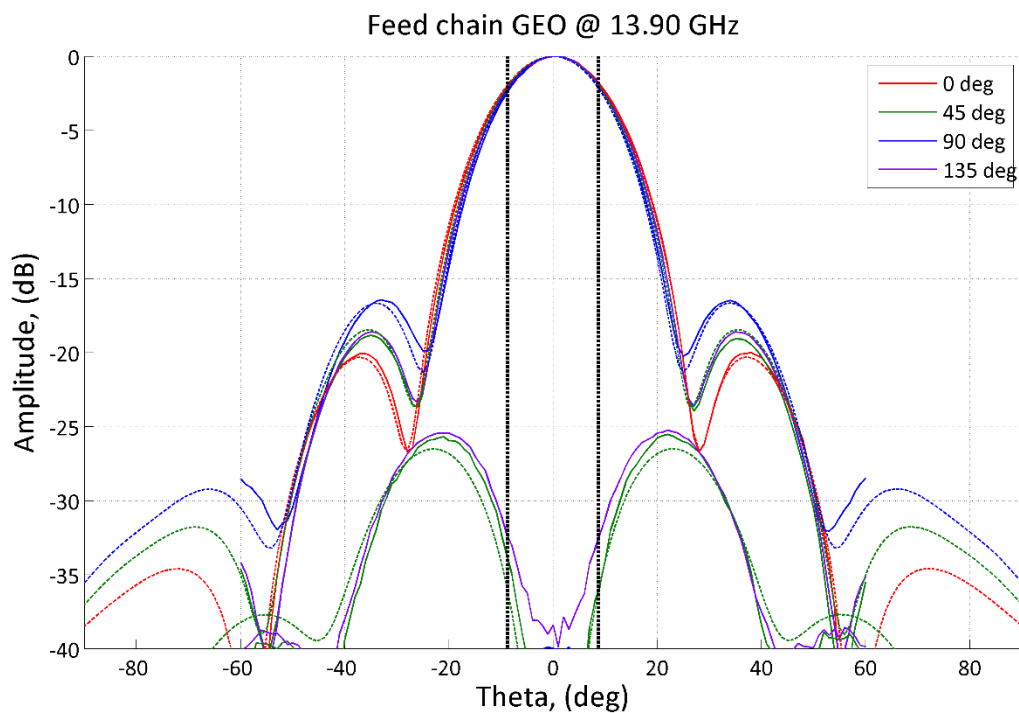


Figura 42. Diagrama de radiación nuevo a 13.90 GHz

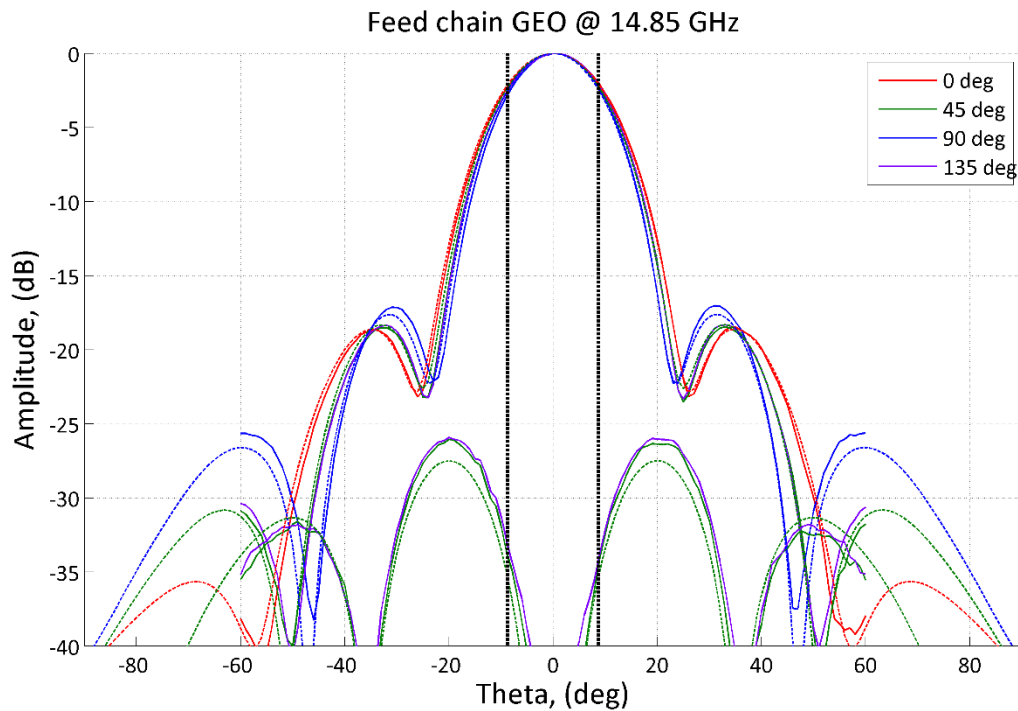


Figura 43. Diagrama de radiación nuevo a 14.85 GHz

Como se puede observar la mejora es bastante notable. Además de la mejora sustancial en el tiempo de medida, los diagramas de radiación son más exactos y con menor cantidad de rizado. En las gráficas anteriores aparecen representadas las simulaciones en líneas discontinuas para cada uno de los cortes medidos, y se puede comprobar que los resultados son muy similares a los medidos.

Cabe destacar que en esta medida el margen dinámico es de 36 dB aproximadamente, y por ello, a partir de estos valores en los diagramas de radiación los datos medidos pueden ser confundidos con ruido.

6.4 Medidas realizadas

6.4.1 Feed chain ANT

Esta medida es muy similar a la que se ha explicado en el apartado anterior, utiliza el mismo rango frecuencial. En este caso, se trata del Feed Chain ANT (OMT + filtro + Bocina) también desarrollado para el mismo proyecto de espacio que en el caso anterior.



El setup de medida es idéntico al mostrado en la medida anterior. Se han medido 8 cortes cada 45° , cada uno entre -60° y 60° en theta con 121 puntos de medida y recopilando 5 frecuencias en cada punto. Con un margen dinámico de 36 dB también.

Los resultados obtenidos son mostrados en la Figura 44, que representa el diagrama de radiación a una frecuencia central. Esta medida sirve de nuevo para verificar el correcto funcionamiento de la cámara anecoica.

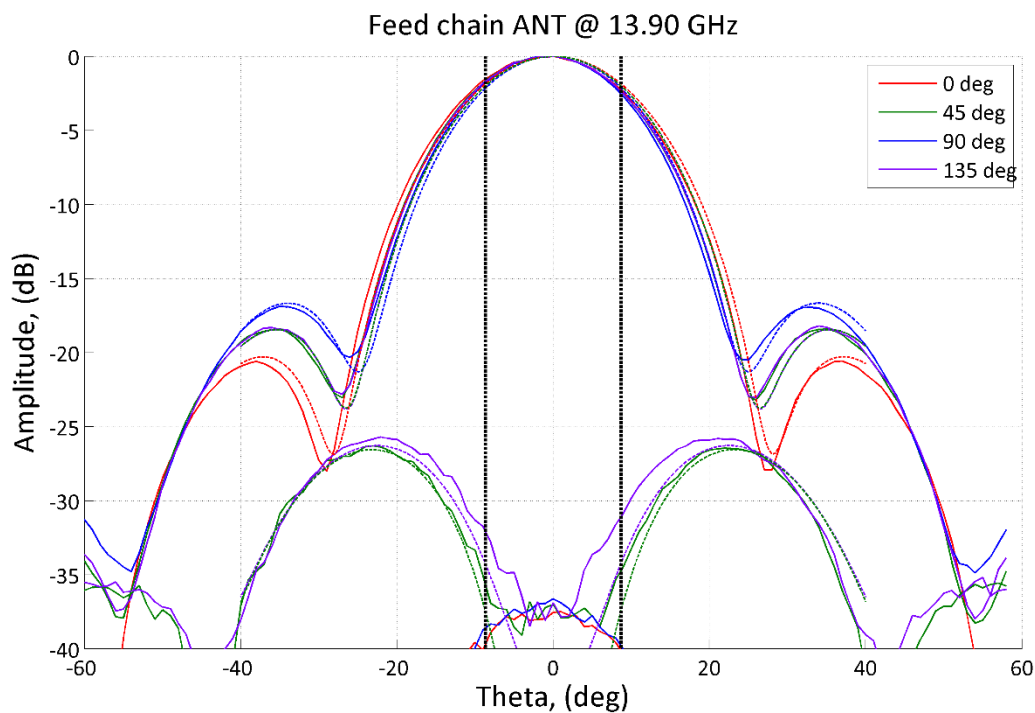


Figura 44. Diagrama de radiación para Feed Chain ANT a 13.90 GHz

6.4.2 Feed chain GEO 2

El mismo proceso se ha realizado para las siguientes fases del proyecto, con resultados como los que se muestran en la Figura 45. En este caso se puede ver también que tanto las medidas llevadas a cabo como las simulaciones son realmente similares.

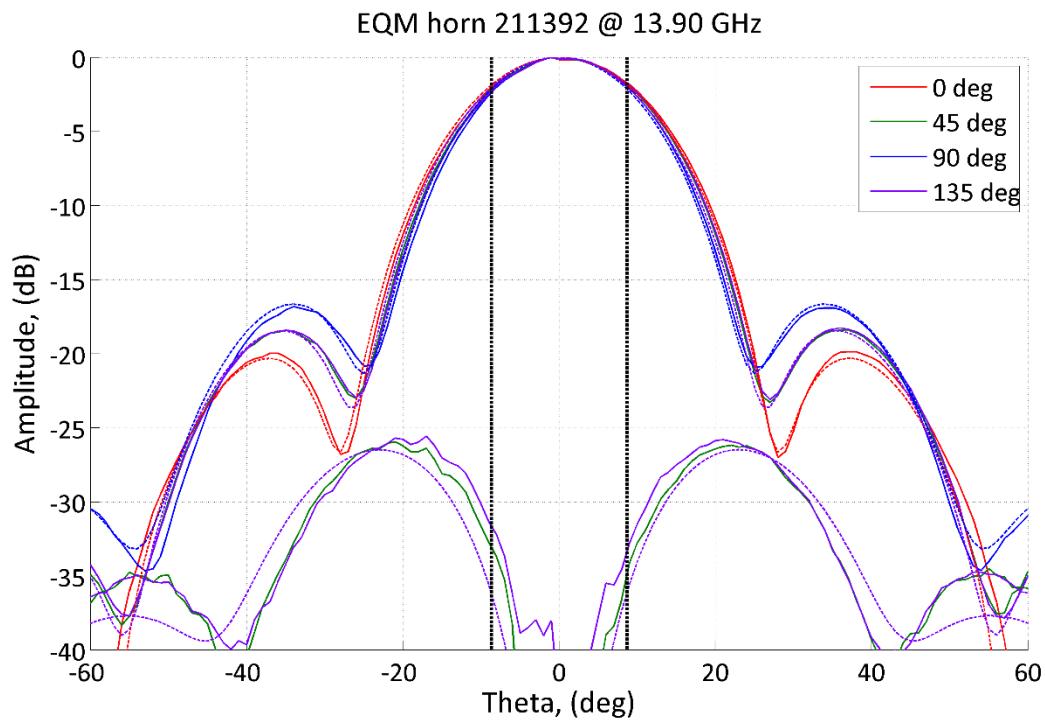


Figura 45. Diagrama de radiación para antena bocina a 13.90 GHz

Se han realizado más medidas en otras bandas frecuenciales, sin embargo, la mayoría de ellas serán comentadas en el *complemento a este trabajo fin de máster*.



7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

7.1 Conclusiones

Durante el transcurso de este proyecto se han llevado a cabo diferentes tipos de trabajos, entre ellos, se ha dejado la cámara anecoica de la Universidad Pública de Navarra cubierta de absorbente casi en su totalidad, y por consiguiente preparada para medir antenas a diferentes bandas frecuenciales aproximadamente entre 5 y 60 GHz.

Se ha caracterizado la cámara anecoica, ahora se conocen los límites de margen dinámico disponibles para todas las frecuencias de forma que sea posible saber si una medida va a ser realizable o no antes de llevarla a cabo, o conocer cuál debería ser la configuración de set-up más adecuada para la misma.

Se ha realizado un software específico para campo lejano esférico. Éste contiene multitud de funcionalidades que facilitan el proceso de medida al usuario, como la representación de gráficas de fase y magnitud, que permiten alinear las antenas con mayor precisión. Al automatizar todo el proceso de medida se concluye un ahorro de tiempo de un **93.18%** respecto a las medidas anteriores a este proyecto. A parte de esta mejora, las horas son no presenciales, es decir, no es necesario que ninguna persona esté en la cámara anecoica durante el transcurso de la medida. Con este software se han añadido funcionalidades que

incrementan la capacidad de obtención de resultados instantáneos (post-procesado Matlab) para conocer si la medida ha sido satisfactoria tras acabar la misma.

Además, se puede concluir que los resultados son bastante óptimos y han mejorado considerablemente si se realiza una comparación con medidas ya realizadas antes del inicio del proyecto. Los niveles de rizado han disminuido notablemente dando lugar a diagramas de radiación más uniformes y definidos. Al mismo tiempo los niveles de cross-polar no se componen de tanto ruido, y por ello, es más fácil conocer de sus valores exactos.

Las conclusiones halladas son satisfactorias, aunque es cierto que, se deberían llevar a cabo más medidas con diferentes configuraciones en campo lejano y a diferentes frecuencias para observar que la cámara anecoica sigue funcionando correctamente.

7.2 Líneas futuras

Una de las tareas futuras a realizar es acabar el montaje de la cámara anecoica, puesto que en la zona de las paredes 4 y 5 no hay absorbente instalado en las partes superiores. No afecta a las medidas en campo plano pero la cámara estaría más optimizada si está totalmente recubierta.

Referente al software elaborado para campo lejano, se podrían optimizar algunas de las funciones llevadas a cabo. En las medidas actuales se mide directividad en vez de ganancia por la capacidad de hallarla gracias a los diagramas de radiación medidos. Por tanto, una nueva funcionalidad sería generar un código capaz de hallar la ganancia a través de los datos medidos.

Además, sería necesario realizar más medidas a diferentes bandas frecuenciales, de forma que la verificación de la cámara anecoica sea aún más realista.

También, se podría pensar en instalar otros sistemas de medida de campo lejano, como es el compact range. Utilizando un reflector se podrían realizar medidas en campo lejano que con una cámara como la actual no sería posible debido a la distancia en far field



CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

necesaria. Para ello habría que instalar todo el sistema completo y diseñar un software específico para este tipo de medidas.



Bibliografía

- [1] Mikel Goñi Esparza. *Desarrollo del software de control de los sistemas de posicionamiento de precisión para medida de antenas en milimétricas y submilimétricas*. UPNA-2015.
- [2] Nearfield Systems Inc. *Near field vs Far field*.
- [3] Committee, A. S. (2008). *IEEE Standard Test Procedures for Antennas* (Vol. 1979)
- [4] Jorge Teniente Vallinas. *Chapter 5: Antenna measurements*. Public University of Navarra 2016.
- [5] Eccosorb microwave absorber. URL: <http://www.eccosorb.eu/products/eccosorb>
- [6] E8361C PNA Microwave Network Analyzer. URL: <http://www.keysight.com/en/pd-1349333-pn-E8361C/pna-microwave-network-analyzer?cc=ES&lc=eng>
- [7] *Getting Started with LabVIEW*. URL: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361N-01/lvhowto/lv_getting_started/
- [8] *Programación Gráfica*. URL: <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/dataflow>
- [9] *National instruments VISA*. URL: <http://www.ni.com/visa/>
- [10] National Instruments. *Using DDE in LabVIEW*. Application Note 166, July 2000.
- [11] Bazus. *Órdenes de intercambio de información con Dyfe-POSITIONER*. 2016.
- [12] *Radiation Patterns and Antenna Characteristics*. URL: http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/ads2008/emds/ads2008/Radiation_Patterns_and_Antenna_Characteristics.html

ANEXOS

ANEXO 1. DIMENSIONES CÁMARA ANECOICA

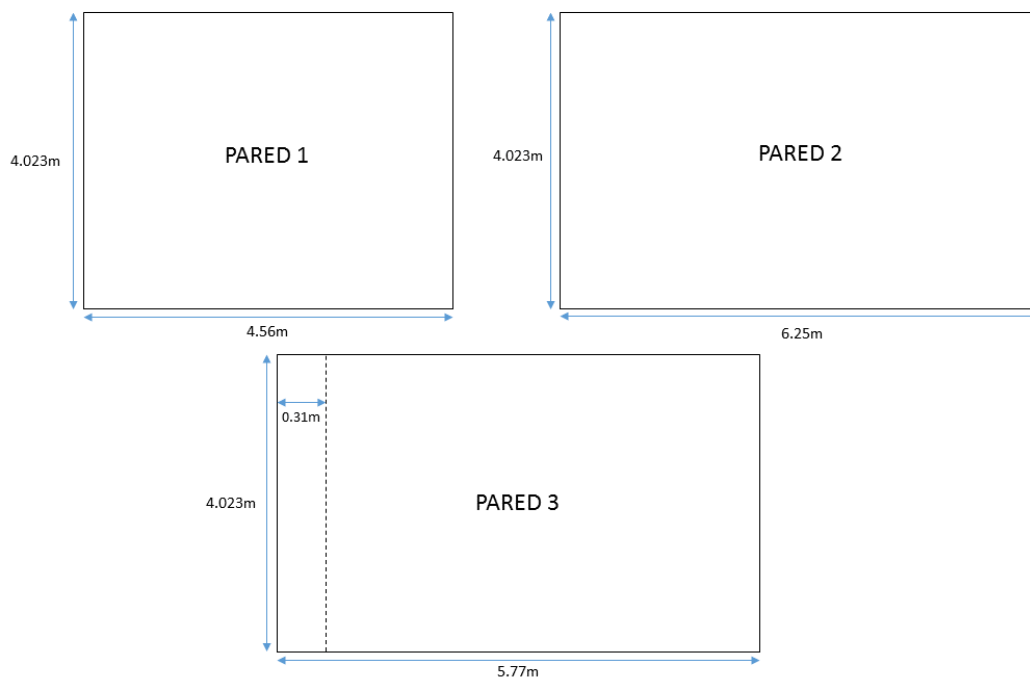


Figura 46. Dimensiones de las paredes 1, 2 y 3 de la CA

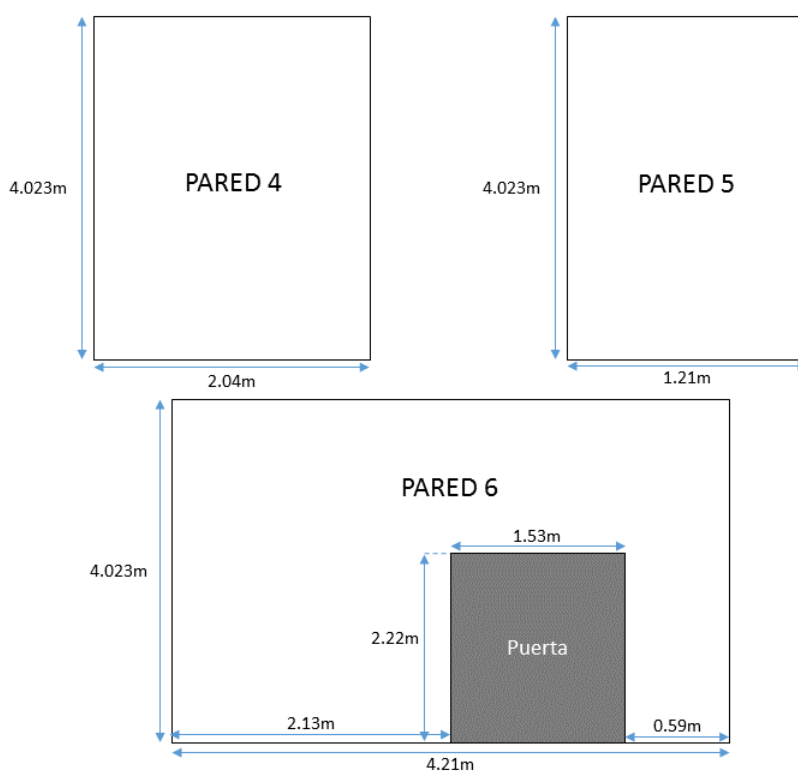


Figura 47. Dimensiones de las paredes 4, 5 y 6 de la CA

ANEXO 1. DIMENSIONES CÁMARA ANECOICA

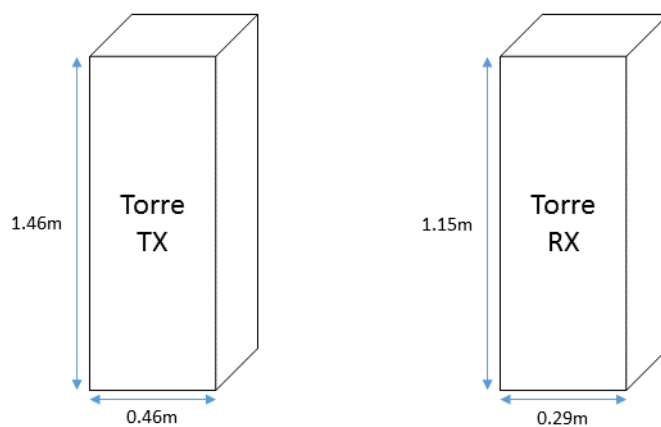


Figura 48. Dimensiones de las torres de medida

ANEXO 2. CÁMARA ANECOICA ORIGINAL

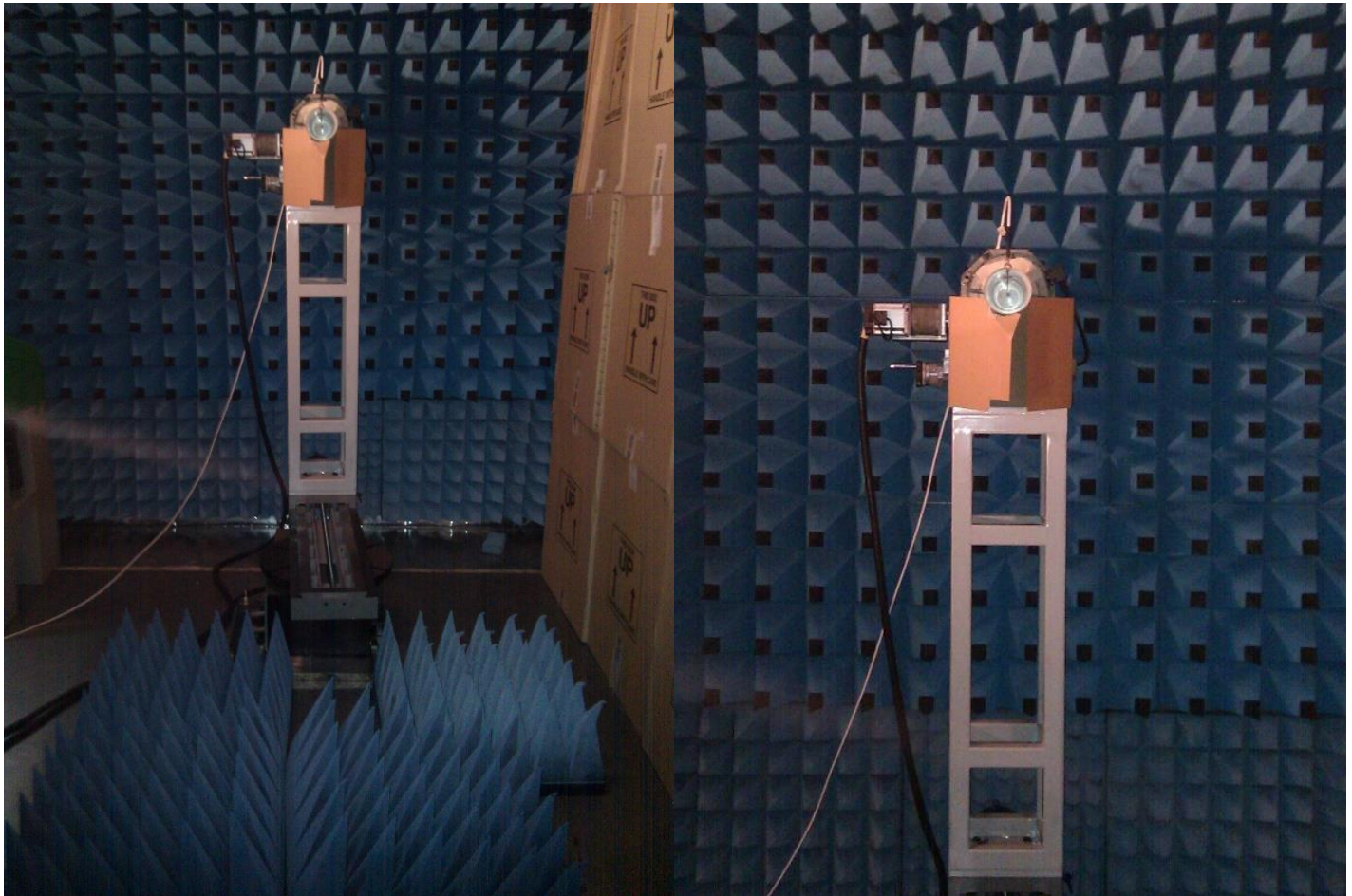


Figura 49. Estado de la cámara anecoica original

ANEXO 3. CÁMARA ANECOICA EVOLUCIONADA

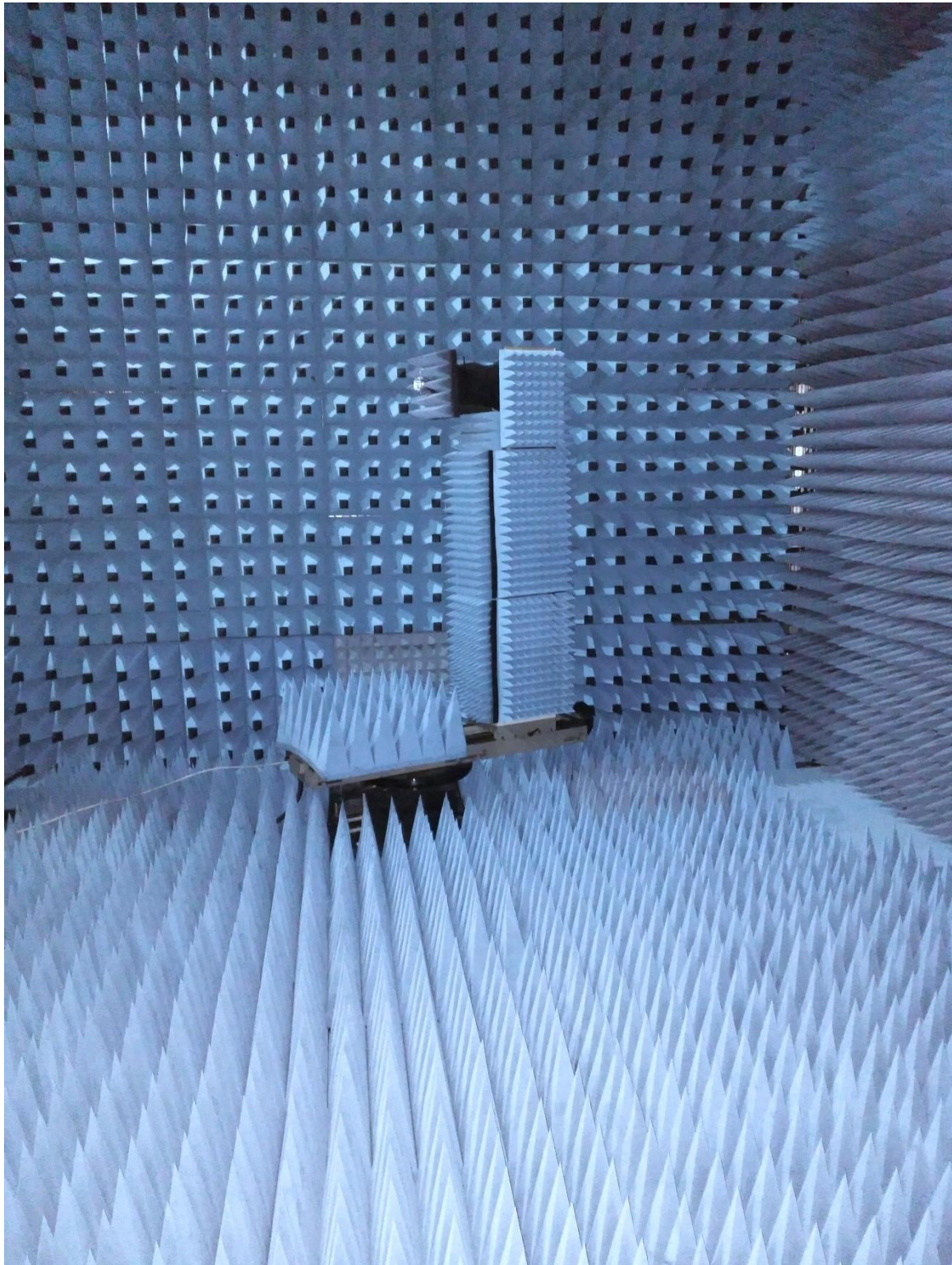


Figura 50. Estado de la cámara anecoica actual

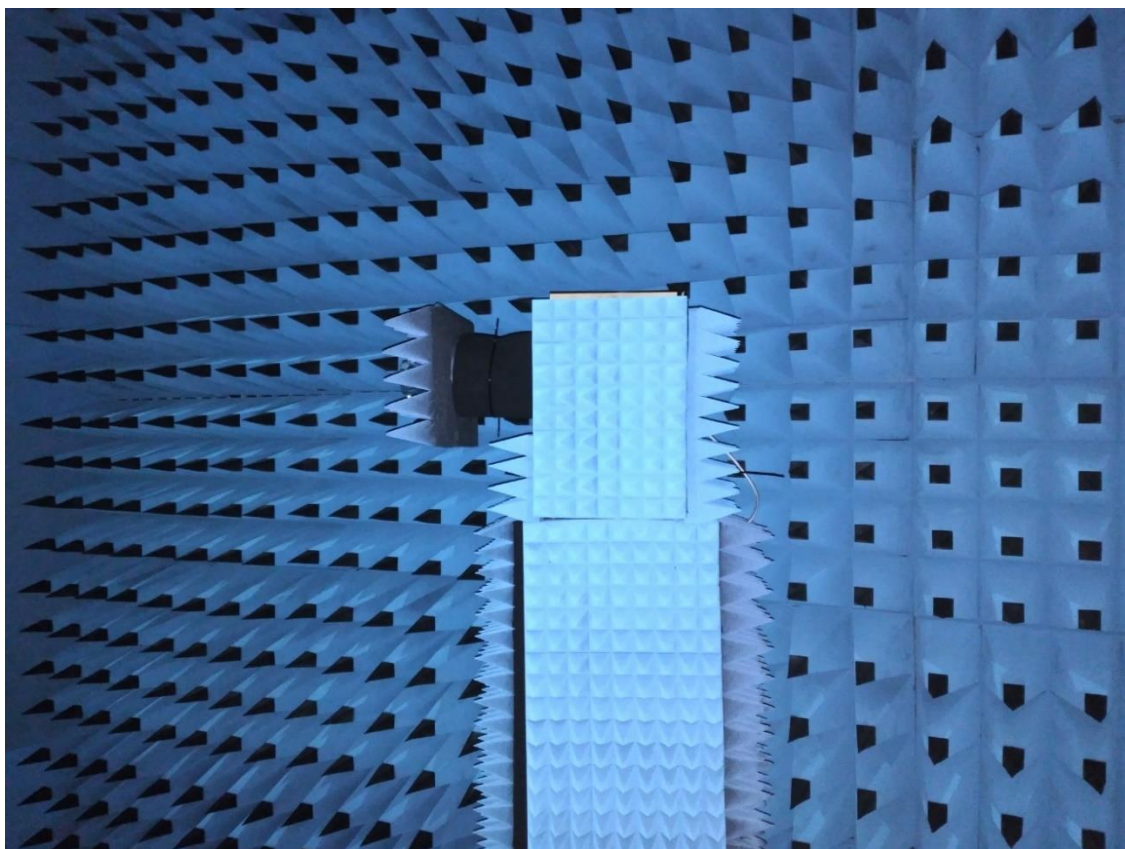


Figura 51. Estado de la cámara anecoica actual 2

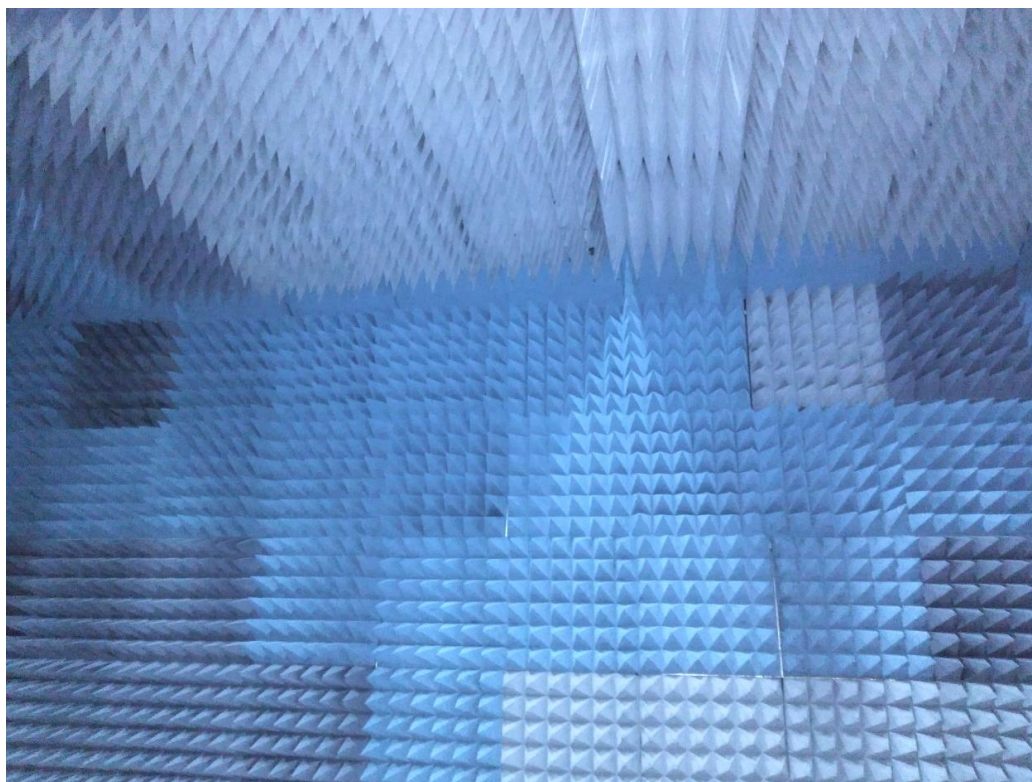


Figura 52. Estado de la cámara anecoica actual 3

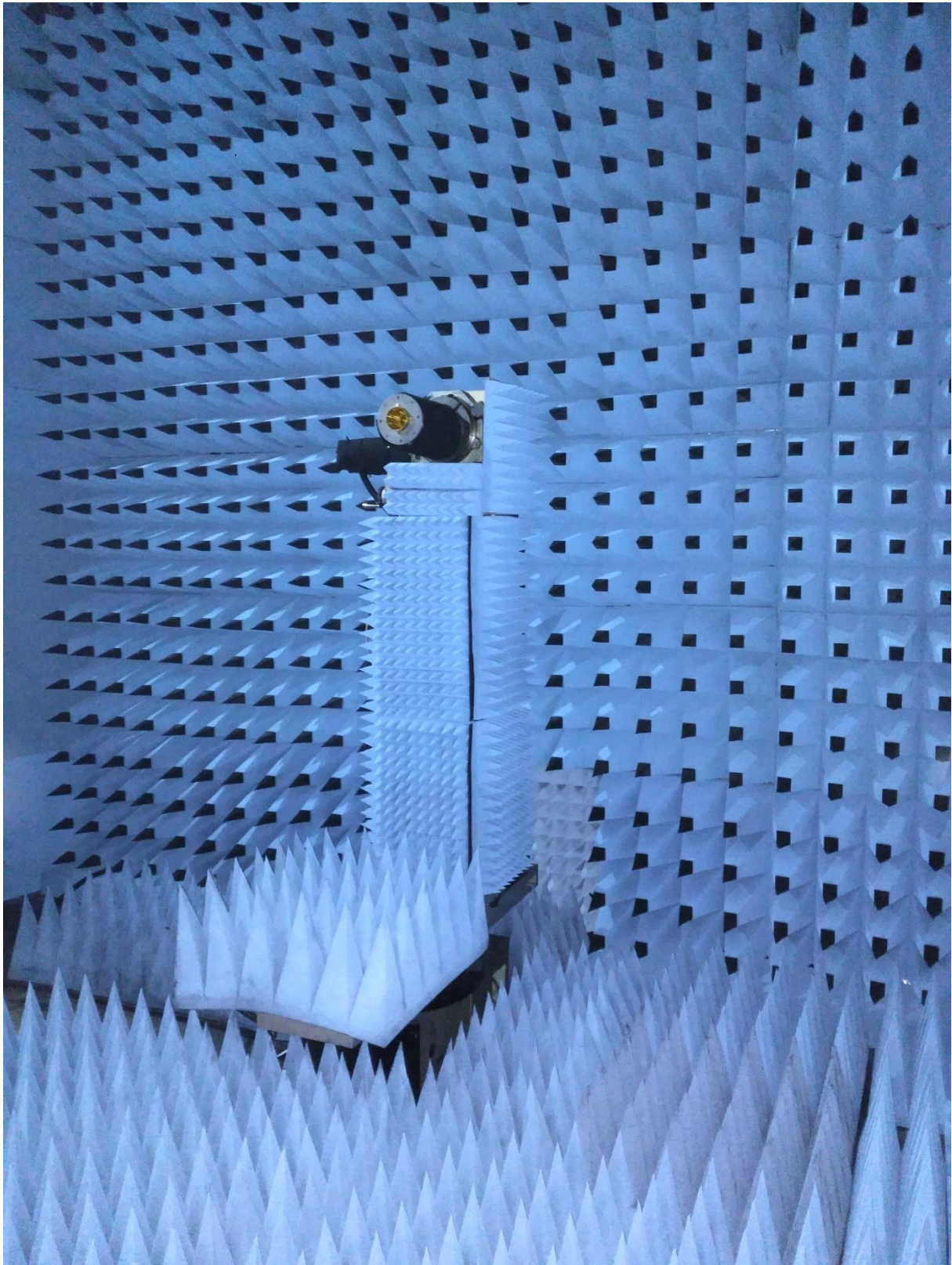


Figura 53. Estado de la cámara anecoica actual 4

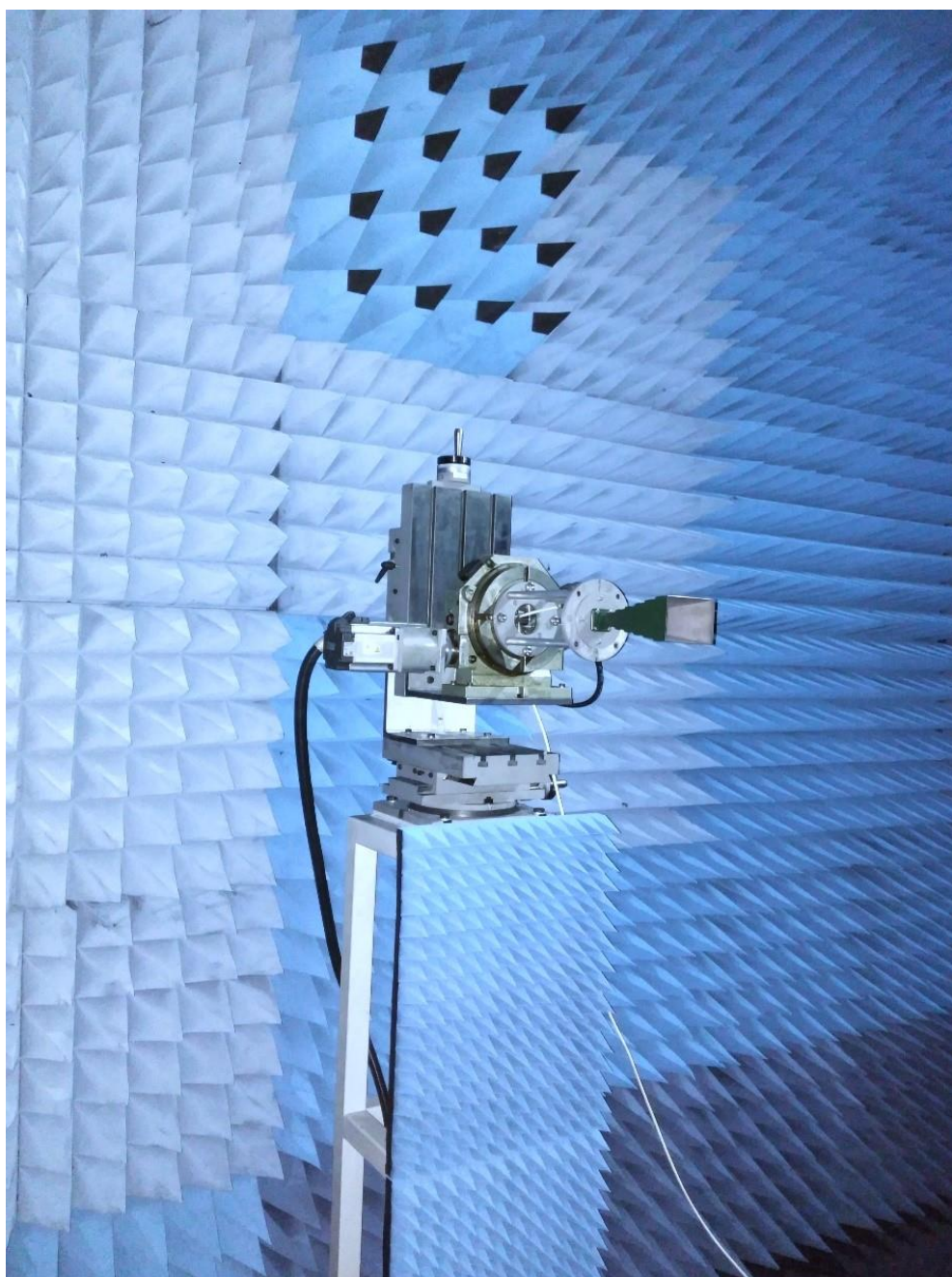


Figura 54. Estado de la cámara anecoica actual 5

ANEXO 4. ABSORBENTE WAVASORB

ANEXO 4. ABSORBENTE WAVASORB



Related WAVASORB® Series



WAVASORB® VHP CO:
Coated Absorber



WAVASORB® HX/HHS:
High Power Absorber



WAVASORB® VHP FL:
Walkable Floor Absorber



WAVASORB® VHP VE:
Ventilation Absorber



WAVASORB® VHP OD:
Outdoor Absorber




WAVASORB® VHP
Advanced Broadband Pyramidal Absorber

EMC Anechoic Chambers NV
Nieuwethuisdijk 2A
B-2200 Tervuren
België

Tel.: +32 14 59 58 00
Fax: +32 14 59 58 01

info@eca-projects.com
www.eca-projects.com

EMC Anechoic Chambers Asia Ltd
Hui Min Bldg, 8/F, 50 George's Road
2, Tanjong Pagar, Central
Hong Kong

Tel.: +852 3972 2173
Fax: +852 3972 2211

info@eca-projects.com
www.eca-projects.com

Albatross Projects GmbH
Darmenhausen 17
89364 Isenhausen
Germany

Tel.: +49 7321 730 500
Fax: +49 7321 730 590

info@albatross-projects.com
www.albatross-projects.com

Albatross Projects RF Technology India Pvt. Ltd
315, Sector 29A, Near Sangam Cross, W-0,
GTS D, Highway
Gurgaon, 122021
India

Tel.: +91 79 3271 2899

info@albatross-projects.in
www.albatross-projects.in

Albatross Projects RF Technology Shanghai Co., Ltd.
1804, 81 No. 100 Baitan Road
Inside Grand Skyline Garden Hotel
200331 Shanghai
P.R. China

Tel.: +86 21 5434 1110
Fax: +86 21 5434 1800

info@albatross-projects.cn
www.albatross-projects.cn

AP Americas Inc.
1501 Lakeside Parkway, Suite 100-B
Houston, Texas, TX 77058
USA

Tel.: +1 281 292 9100
Fax: +1 281 292 9100

info@apamericas.com
www.apamericas.com

BEST RESULTS FOR PIONEERING SUCCESS
think global



www.ecanechoichambers.com

- WAVASORB VHP is a series of solid, pyramidal-shaped, carbon-loaded, urethane-foam absorbers.
- Premium performance in the operating frequency range from 100 MHz to 500 GHz, obtained by optimization of the geometry of any individual absorber.
- Certified to all fire-retardancy and environmental specifications by containing an advanced chemical composition.
- Excellent power-handling capability assured under continuous wave exposure.
- REACH- and RoHS-compliant, maintaining a healthy environment for operation.
- Designed and quality controlled using commercial and original simulating and test techniques.

Figura 55. Absorbente WAVASORB VHP

ANEXO 4. ABSORBENTE WAVASORB

WAVASORB® VHP

E&C Anechoic Chambers has a fully automated manufacturing facility with CNC-controlled foam-cutting machines, computer-controlled impregnation, drying processes, and robotized painting to ensure stability of RF and fire-retardant performances.

Seventy years experience with absorber-manufacturing techniques provides consistency in chemical compositions, electrical and fire-retardant properties with uniform distribution.

E&C Anechoic Chambers can provide customized solutions to accommodate cleanroom requirements, flexible coatings and paintings to improve durability, and engineered pre-cuts and custom parts fit for equipment linings.

Perfectionism is our goal, with special attention to the dimensions and geometry of the individual absorber panels that enhance performance as well as optical appearance of the entire test facility.

Measurement Techniques

WAVASORB VHP is manufactured in well-defined batches, and their reflectivity and fire-retardant properties are continuously monitored following internal ISO 9001 procedures.

The intrinsic material parameters are regularly measured with state-of-the-art test set ups and optimized using simulation software. WAVASORB VHP is tested routinely in the frequency range from 30 MHz to 40 GHz using a set of coaxial lines, waveguides, NRL Arches and in a Compact Range in accordance with IEEE Standard 1128.

WAVASORB VHP has excellent power handling capability to safely withstand an incident CW power density of up to 800 W/m². Moreover, it can handle an incident CW power density up to 1500 W/m² for periods less than 30 minutes.



Installation Methods and Chamber Validation

WAVASORB VHP is typically bonded to metallic surfaces using WAVASORB Adhesive. For easy exchange, modular installation techniques are available using Velcro fasteners or Plate & Rail mounting to achieve perfect geometry and alignment compatibility with any type of shielding.

Contrast colors are available in various types of paint and coating.

Robust, walkable versions are available in different grades to provide ample access to the equipment.

E&C Anechoic Chambers has developed VSWR Field-Probe measurement techniques for anechoic chamber validation, verifying the chamber performance at the system level.

Applications

WAVASORB VHP is the preferred solution for the anechoic chamber lining of Far-field, Near-field and Compact Antenna Test Ranges, Radar Cross Section (RCS) facilities, Electronic Warfare (EW) test ranges and wireless Over-The-Air (OTA) measurement systems. Furthermore, it offers favorable back-scattering properties at off-normal angles of incidence. It is thus well suited for use in all regions of anechoic chambers. Excellent performance has been proven for millimeter-wave applications up to 500 GHz.

WAVASORB VHP is also the preferred solution for various floor configurations to comply with all EMC standards.

Guaranteed Reflectivity

	100 MHz	160 MHz	200 MHz	300 MHz	450 MHz	800 MHz	1 GHz	3 GHz	6 GHz	12-18 GHz	18-40 GHz	40-110 GHz
WAVASORB VHP-2								-20 dB	-25 dB	-40 dB	-45 dB	-55 dB
WAVASORB VHP-4							-20 dB	-30 dB	-45 dB	-50 dB	-55 dB	-55 dB
WAVASORB VHP-8						-20 dB	-30 dB	-40 dB	-50 dB	-50 dB	-55 dB	-55 dB
WAVASORB VHP-12					20 dB	-30 dB	-35 dB	-45 dB	-50 dB	-50 dB	-55 dB	-55 dB
WAVASORB VHP-18				-20 dB	-30 dB	-35 dB	-40 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-55 dB	-55 dB
WAVASORB VHP-26			20 dB	-25 dB	-32 dB	-40 dB	-45 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-55 dB	-55 dB
WAVASORB VHP-36		-20 dB	-25 dB	-30 dB	-40 dB	-45 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-55 dB	-55 dB
WAVASORB VHP-45	-20 dB	-22 dB	-25 dB	-35 dB	-40 dB	-45 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-55 dB	-55 dB

Characteristics

Standard Color	Blue (contrast colors available on request)
Operation Temperature	+5°C to +35°C
Humidity Range	30% to 70%
Frequency Range	30 MHz - 500 GHz
Maximum Incident Power Density	800 W/m ² , 0,52 W/m ² , 550 V/m
Fire-retardancy	NRL 8093 Tests 1, 2 and 3 DIN 4102-1 Class B2 ISO 11925-2 Class E UL-94/HBF ISO 4589-2
RoHS Compliant	According to 2011/65/EU
Reach Compliant	According to EC 1907/2006
Environmental	IEC 60068-2-1 Test Ab AATCC 30-IV (2004)
Quality Control	IEEE Standard 1128 ISO 9001
Product Life	20+ Years

Physical Properties

	Total height (cm)	Number of pyramids per piece	Nominal weight (kg)
WAVASORB VHP-2	5.6	1024	1.4
WAVASORB VHP-4	10.2	256	1.6
WAVASORB VHP-8	20.3	81	2.0
WAVASORB VHP-12	30.5	36	2.7
WAVASORB VHP-18	45.7	16	3.6
WAVASORB VHP-26	66.1	9	5.7
WAVASORB VHP-36	91.4	4	8.0
WAVASORB VHP-45	114.0	4	9.5

Standard Footprint: 61 x 61 cm

www.ecanechoicchambers.com

Figura 56. Absorbente WAVASORB VHP -características

[illegible]

Figura 57. Absorbente WAVASORB FS



ANEXO 4. ABSORBENTE WAVASORB

WAVASORB® FS

E&C Anechoic Chambers has a fully automated manufacturing facility with CNC-controlled foam-cutting machines, computer-controlled impregnation, drying processes, and robotized painting to ensure stability of RF and fire-retardant performances.

Seventy years experience with absorber-manufacturing techniques provides consistency in chemical compositions, electrical and fire-retardant properties with uniform distribution.

E&C Anechoic Chambers can provide customized solutions to accommodate cleanroom requirements, flexible coatings and paintings to improve durability, and engineered pre-cuts and custom parts fit for equipment linings.

Perfectionism is our goal, with special attention to the dimensions and geometry of the individual absorber panels that enhance performance as well as optical appearance of the entire test facility.



Measurement Techniques

WAVASORB FS is manufactured in well-defined batches, and their reflectivity and fire-retardant properties are continuously monitored following internal ISO 9001 procedures.

Installation Methods and Chamber Validation

WAVASORB FS is bonded to metallic surfaces using WAVASORB Adhesive 13111. For easy exchange, modular installation techniques are available using Velcro fasteners or Plate & Rail mounting to achieve perfect geometry and alignment compatibility with any type of shielding.

Contrast colors are available in various types of paint and coating.

E&C Anechoic Chambers has developed VSWR Field-Probe measurement techniques for anechoic chamber validation, verifying the chamber performance at the system level.

Applications

WAVASORB FS is the preferred solution for the lining of corners and complex areas in Far-field, Near-field and Compact Antenna Test Ranges, Radar Cross Section (RCS) facilities, Electronic Warfare (EW) test ranges and wireless Over-The-Air (OTA) measurement systems. Sizes can easily be customized to fit any specific project area.



Characteristics

Standard Color	Blue (contrast colors available on request)
Operation Temperature	+5°C to +35°C
Humidity Range	30% to 70%
Frequency Range	100 MHz- 40 GHz
Fire-retardancy	NRL 8093 Tests 1, 2 and 3 DIN 4102-1 Class B2 ISO 11925-2 Class E UL-94/HBF ISO 4589-2
RoHS Compliant	According to 2011/65/EU
Reach Compliant	According to EC 1907/2006
Environmental AATCC 30-IV (2004)	IEC 60068-2-1 Test Ab
Quality Control	IEEE Standard 1128 ISO 9001
Product Life	20+ Years

Physical Properties

	Thickness (cm)	Nominal Weight (kg)
WAVASORB FS-50	5	1.5
WAVASORB FS-100	10	2.5
WAVASORB FS-150	15	4
WAVASORB FS-200	20	5

Standard Footprint: 61 x 61 cm

www.ecanechoicchambers.com

Figura 58. Absorbente WAVASORB FS - características

ANEXO 5. INVENTARIO CÁMARA ANECOICA

Inventario Grupo Antenas (UPNA)										
Waveguide name	RCSC	IEC	Frequency band of operation (GHz)	NFP		Adaptadores			SGH	
EIA	WG0.0	R3		Disp.	Modelo	Disp.	Conector	Modelo	Disp.	Modelo
WR229	WG11A	R48	3.30 — 4.90	1	11A246-100	1	3.5mm	11A094-SF40	x	x
WR187	WG12	R58	3.95 — 5.85	x	x	2	tipo N	Narda model 613A	2	Narda model 643
WR159	WG13	R70	4.90 — 7.05							
WR137	WG14	R84	5.85 — 8.20							
WR112	WG15	R100	7.05 — 10.00	x	x	4	SMA	15094-SF40	1	15240-20
WR90	WG16	R120	8.20 — 12.40	x	x	2	SMA	16094-SF40	3	16240-20(1) y Narda model 640 (2)
WR75	WG17	R140	10.00 — 15.00	1	upna	2	SMA	17094-SF40	1	17240-20
WR62	WG18	R180	12.40 — 18.00	x	x	2	SMA	18094-SF40	1	18240-20
WR51	WG19	R220	15.00 — 22.00	x	x	3	SMA	19094-SF40	1	19240-20
WR42	WG20	R260	18.00 — 26.50	1	upna	2	SMA	20094-SF40	2	20240-20
WR34	WG21	R320	22.00 — 33.00	x	x	x	x	x	x	x
WR28	WG22	R400	26.50 — 40.00	x	x	2	2.4mm	22094-TF30	2	22240-20
WR22	WG23	R500	33.00 — 50.00	1	upna	2	1.85mm	23094-VF50	2	23240-20
WR19	WG24	R620	40.00 — 60.00	x	x	2	2.4mm	MI-WAVE 410U/383	2	MI-WAVE 261U/383
WR15	WG25	R740	50.00 — 75.00	2		2	1.85mm	MI-WAVE 410V/385	2	MI-WAVE 261V/385
WR12	WG26	R900	60.00 — 90.00							
WR10	WG27	R1200	75.00 — 110.00	1	upna	x	x	x	2	27240-20
WR8	WG28	R1400	90.00 — 140.00	1	upna	x	x	x	2	MI-WAVE 261F/387
WR6	WG29	R1800	110.00 — 170.00	x	x	x	x	x	x	x
WR5	WG30	R2200	140.00 — 220.00	1	upna	x	x	x	2	MI-WAVE 261G/387
WR4	WG31	R2600	172.00 — 260.00	x	x	x	x	x	x	x
WR3	WG32		220.00 — 330.00	x	x	x	x	x	2	32240-25
WR2.8**			260.00 — 400.00	x	x	x	x	x	x	x
WR2.2**			330.00 — 500.00	x	x	x	x	x	x	x
1.85 mm										
3.5 mm										

Figura 59. Inventario cámara anecoica UPNA



ANEXO 5. INVENTARIO CÁMARA ANECOICA

Inventario Grupo Antenas (UPNA)													
Waveguide name	RCSC	IEC	Frequency band of operation (GHz)	Transiciones rec-circ		Guías		Twist		Bend		Kits de calibración	
EIA	WG0.0	R3		Disp.	Modelo	Disp.	Modelo	Disp.	Modelo	Disp.	Modelo	Disp.	Modelo
WR229	WG11A	R48	3.30 — 4.90	x	x	x	x	x	x	x	x	1	Grupo Antenas
WR187	WG12	R58	3.95 — 5.85	x	x	x	x	x	x	x	x		
WR159	WG13	R70	4.90 — 7.05										
WR137	WG14	R84	5.85 — 8.20										
WR112	WG15	R100	7.05 — 10.00	x	x	2	15441	x	x	x	x	1	Grupo Antenas
WR90	WG16	R120	8.20 — 12.40	1	16644	2	16441	x	x	x	x	1	Grupo milimétricas
WR75	WG17	R140	10.00 — 15.00	1	17644	1	17441	x	x	x	x	1	Grupo milimétricas
WR62	WG18	R180	12.40 — 18.00	1	18644	2	18441	x	x	x	x	1	Grupo milimétricas
WR51	WG19	R220	15.00 — 22.00	1	19644	x	x	x	x	x	x		
WR42	WG20	R260	18.00 — 26.50	x	x	x	x	x	x	x	x	1	Grupo milimétricas
WR34	WG21	R320	22.00 — 33.00	x	x	x	x	x	x	x	x	1	Grupo milimétricas
WR28	WG22	R400	26.50 — 40.00	x	x	x	x	x	x	x	x	1	Grupo milimétricas
WR22	WG23	R500	33.00 — 50.00	x	x	x	x	x	x	x	x	1	Grupo Antenas
WR19	WG24	R620	40.00 — 60.00	x	x	x	x	x	x	x	x		
WR15	WG25	R740	50.00 — 75.00	x	x	x	x	x	x	x	x	1	Grupo Antenas
WR12	WG26	R900	60.00 — 90.00										
WR10	WG27	R1200	75.00 — 110.00	x	x	2	27441(1) y elmika(1)	2	27450-90LH	4	27240-90 (2H y 2E)	1	Grupo Antenas (VDI)
WR8	WG28	R1400	90.00 — 140.00	x	x	6	690F-2.00/387	2	681F/387	4	660F/387(2) y 670F/387(2)	1	Grupo Antenas (Hutipre)
WR6	WG29	R1800	110.00 — 170.00	x	x	x	x	x	x	x	x		
WR5	WG30	R2200	140.00 — 220.00	x	x	4	690G-2.00/387	2	681G/387	4	660G/387(2) y 670G/387(2)	1	Grupo Antenas (VDI)
WR4	WG31	R2600	172.00 — 260.00	x	x	x	x	x	x	x	x		
WR3	WG32		220.00 — 330.00	x	x	2	32241	x	x	x	x	1	Grupo Antenas (VDI)
WR2.8**			260.00 — 400.00	x	x	x	x	x	x	x	x		
WR2.2**			330.00 — 500.00	x	x	x	x	x	x	x	x	1	Grupo Antenas (VDI)
1.85 mm												1	Grupo Antenas
3.5 mm												1	Grupo Antenas

Figura 6o. Inventario cámara anecoica UPNA 2